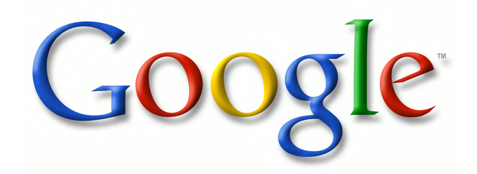
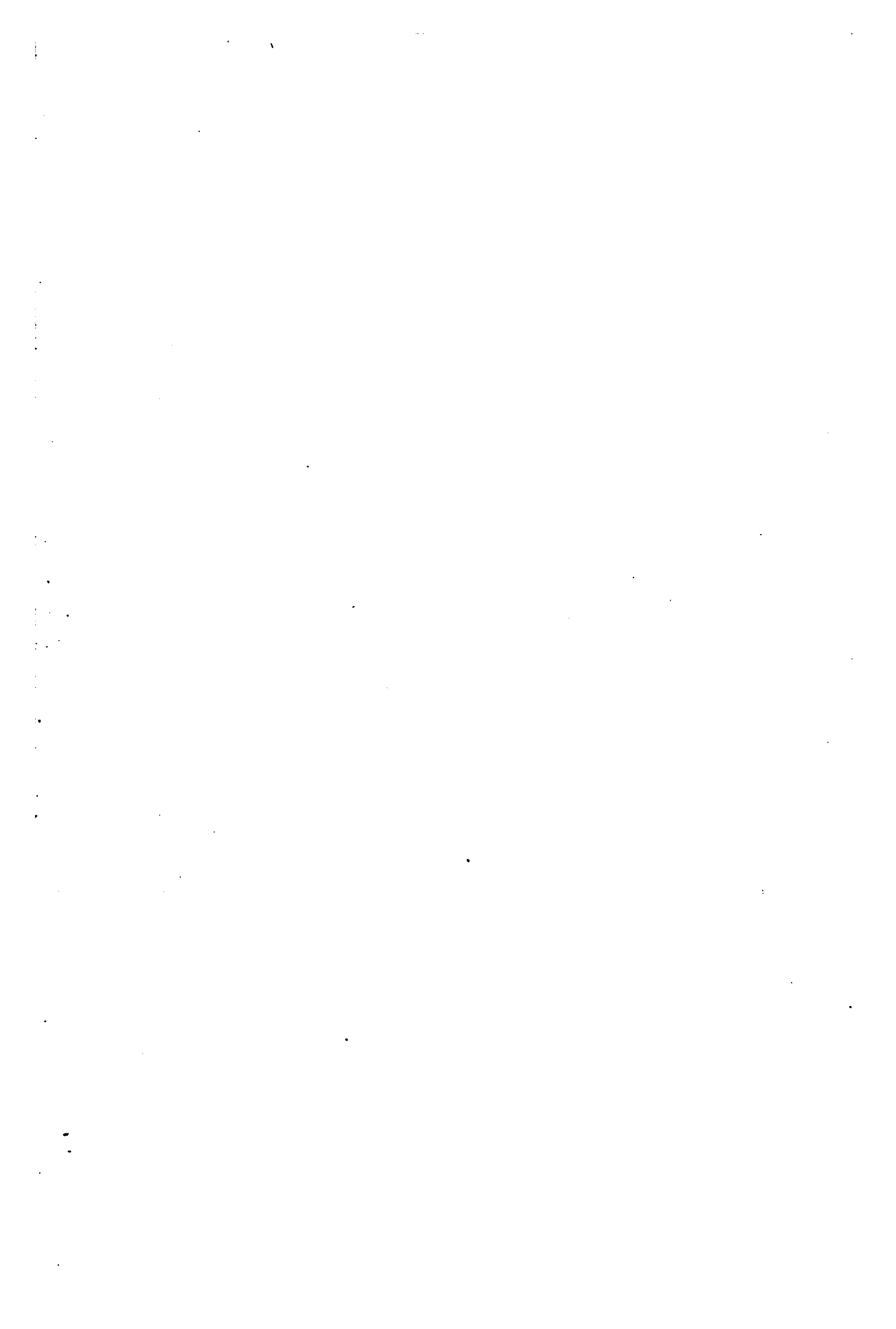






ABHANDLUNGEN ZUR GESCHICHTE DER MATHEMATISCHEN WISSENSCHAFTEN MIT EINSCHLUSS IHRER ANWENDUNGEN.
BEGRÜNDET VON MORITZ CANTOR. XXIII. HEFT.

DAS 200-JÄHRIGE JUBILÄUM DER DAMPFMASCHINE

1706—1906

EINE HISTORISCH-TECHNISCH-WIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG VON

KURT HERING
INGENIEUR

MIT 13 FIGUREN IM TEXT



LEIPZIG
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER
1907

Vorwort.

Das 200jährige Jubiläum der Dampfmaschine erschien mir wichtig genug, über den Werdegang der Erfindung und ihre wirtschaftlichen Folgen die vorliegende kleine Schrift zu verfassen und der Öffentlichkeit zu übergeben. Keineswegs den Anspruch erhebend, alle zur Verfügung stehenden Dokumente und Quellen benutzt und angeführt zu haben, war es mir nur darum zu tun, die Erfindungsgeschichte — über welche leider noch so viele irrige Ansichten bestehen — in großen Zügen historisch und technisch darzustellen. Nach Möglichkeit versuchte ich die historische Wahrheit durch Quellenstudien festzustellen. Wo dies nicht möglich war — z. B. bei Papins sog. Dampfschiffahrt —, habe ich mich dem mir richtig erscheinenden Beweise bereits vorliegender Druckschriften angeschlossen. Wer der Materie größeres Interesse entgegenbringt, möge in den Quellen, welche am Schlusse in einem Literaturnachweis angeführt sind, studieren.

Herrn Diplomingenieur Naumann, sowie Herrn K. Pistor bin ich für gütige Unterstützung beim ersten und letzten Teile der Arbeit sehr verbunden.

Darmstadt, Januar 1907.

Kurt Hering.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

Kriegs- und Heldentaten von Fürsten und Mannen werden schon seit grauer Vorzeit in Poesie und Prosa verherrlicht, aber erst die neuere Zeit ist dazu übergegangen, auch den Helden der Wissenschaft und der Technik Denkmäler aere perennius zu errichten. Wie berechtigt ist daher der Ausspruch Th. Carlyles: „The true Epic of our time is not Arms and the Man, but Tools and the Man, an infinitely wider kind of Epic." — „Das wahre Epos unserer Zeit ist nicht mehr Waffe und Mensch, sondern Werkzeug und Mensch, — eine unendlich umfassendere Art von Epos."

Haben unsere Vorfahren ihre Kriegshelden verherrlicht, so ist es unsere Pflicht, der Männer, die auf unsere Kultur fördernd gewirkt haben, mit Dankbarkeit und Verehrung zu gedenken.

Der Schwerpunkt unserer ganzen Kultur ist aber mit Beginn des Maschinenzeitalters zu Anfang des 18. Jahrhunderts auf das technische Gebiet verschoben worden, und zwar bezeichnet die Erfindung der Maschine im allgemeinen, der Dampfmaschine im besonderen, den Anfang dieser Umwandlung.

Der Erfinder der Dampfmaschine verdient deshalb Gegenstand allgemeiner Verehrung zu sein; doch wer war der Erfinder dieser wichtigsten Maschine der Neuzeit? Nicht als das Werk eines einzelnen, sondern als das Produkt vieler Gelehrten und Praktiker der verschiedensten Nationen tritt uns die Dampfmaschine entgegen.

Die Verdienste, die sich ein James Watt um die Verbesserung der Dampfmaschine erworben hat, sind wohl schon in die weitere Öffentlichkeit gedrungen. Weniger bekannt dagegen dürften die Arbeiten des Marburger Professors Dionysius Papin sein, der vom wissenschaftlichen Standpunkte aus die Prinzipien der Dampfmaschine erforschte und festlegte, ja sogar selbst einige brauchbare Dampfmaschinen baute und so den Grundstein legte zu dem Gebäude, das ein James Watt und andere auszubauen und zu vollenden berufen waren.

200 Jahre sind nun verflossen, daß Papin mit einer größeren betriebsfähigen Dampfmaschine in die Öffentlichkeit trat (1706).

Anläßlich dieses Jubiläums soll die vorliegende Schrift dazu beitragen, den Namen und den Ruhm des geistigen Erfinders der Dampfmaschine in weitere Kreise zu tragen.

I. Vorgeschichte.

Um uns ein Urteil bilden zu können, was Papin der Welt an Ideen gegeben hat, müssen wir zunächst die Fundamente betrachten, auf die er das Gebäude seiner Erfindung aufzubauen versuchte. Wir wollen also eine kurze Übersicht aller der Gedanken und Experimente geben, die wir im Altertum und Mittelalter als Vorläufer der Dampfmaschine bezeichnen können und von denen wir annehmen müssen, daß sie dem Marburger Professor nicht unbekannt geblieben sind. Es sind deren allerdings herzlich wenige. Von einer Kraftmaschine im Altertume kann man nicht reden. Ein wirtschaftliches Bedürfnis nach einer solchen war nicht vorhanden, Menschenkräfte standen in genügender Menge und Billigkeit zur Verfügung. Der Grundsatz: „Zeit ist Geld" ist eine Erfindung unseres Zeitalters. Die Kräfte des Wassers und des Windes wurden wohl schon ausgenutzt. Aber da die Wasserkräfte an einen bestimmten Ort gefesselt sind, so hatten sie in einer an Transportmitteln so armen Zeit nur beschränkte Bedeutung. Die Windkräfte finden wegen ihrer Unbeständigkeit auch heute nur im Mühlenbetriebe Verwendung. Doch wir wollen uns auf die Vorläufer der Dampfmaschine beschränken. Es handelt sich hier um Spielereien, bestenfalls um Versuche, die man infolge der geringen Naturerkenntnis nicht zu deuten und auszuwerten verstand.

Die erste praktische Verwendung der Dampfkraft soll dem berühmtesten Ingenieur des Altertums gelungen sein, Archimedes von Syracus, der dort um das Jahr 212 v. Chr. seine bekannten Kriegsmaschinen baute. Wie uns Leonardo da Vinci berichtet, hat er in einer Dampfkanone die Expansionskraft des Dampfes dazu benutzt, um eine Kugel von einem Talent Gewicht sechs Stadien (ca. 1100 m) weit zu schleudern.

Weitere Versuche machte Heron der Ältere, der um 120 v. Chr. in Alexandria lebte. Es handelte sich bei ihm hauptsächlich um Spielereien und Zauberkunststückchen, deren Ausführung dazu dienen sollte, das Ansehen einer mächtigen Priesterkaste beim gläubigen Volke noch mehr zu erhöhen; von einem ernsten, wissenschaftlichen Naturstudium kann man bei ihm nicht reden, noch weniger hatte er eine Ahnung von den Möglichkeiten,

welche die Anwendung der Naturkräfte in sich barg. Aus dem oben erwähnten Zwecke, den er mit seinen Kunststückchen verfolgte, erklärt es sich auch, daß diese geheim gehalten wurden und nur eine geringe Ausbreitung erfuhren. Immerhin finden wir bei ihm eine Anzahl recht hübscher Gedanken, von denen einige sogar an ganz moderne Konstruktionen anklingen. So stellt seine Drehkugel das Urbild unserer Dampfturbine dar. Eine hohle Metallkugel ist in zwei Stützen gelagert und um eine horizontale Achse drehbar. Senkrecht zu dieser sind am Umfange zwei kurze Ansatzröhrchen untergebracht, die sich gegenüberstehen und von denen das eine nach vorne und das andere nach hinten umgebogen ist. Der Dampf wird von einem Dampferzeuger durch eine der Stützen, welche hohl ist, in die Kugel geleitet und strömt durch die Ansatzröhrchen ins Freie hinaus, Durch seine Reaktionswirkung versetzt er die Kugel in Rotation.

Ein anderes Beispiel für die Benutzung des Wasserdampfes zur Erzeugung einer Bewegung bietet die tanzende Kugel, die durch ausströmenden Dampf in die Höhe geworfen und in hüpfende Bewegung versetzt wird. Endlich benutzte Hero den ausströmenden Dampf dazu, einen Trompeter blasen, einen Vogel pfeifen und einen Tierkopf das Feuer anfachen zu lassen. Der hierzu verwandte Dampferzeuger ähnelt im hohen Maße einem Flammrohrkessel mit Gallowayröhren. Wenn sich auch in diesen und ähnlichen Spielereien des Hero ein für jene Zeit sehr bemerkenswertes technisches Geschick kund tut, so liegt ihm der Gedanke an eine Dampfmaschine gewiß noch sehr fern.

In den Jahren 16—13 v. Chr. schrieb Marcus Vitruvius Pollio, der Baumeister und Ingenieur unter Cäsar und Augustus war, ein Buch: De architectura. Darin findet sich die erste Erwähnung der sogenannten Aeolipyle. Es war dies eine hohle Metallkugel mit kleiner Öffnung. Wurde diese über einem Feuer erwärmt, so entstand in ihrem Inneren ein luftverdünnter Raum. Hielt man nun die Öffnung unter Wasser, so füllte sich die Kugel mit der Flüssigkeit. Wurde nun die Kugel abermals erwärmt, so bildete sich Wasserdampf, der mit kräftigen Blasen der Öffnung entströmte. Vitruv spricht die Ansicht aus, daß das aus dem erhitzten Wasser aufsteigende Gas atmosphärische Luft sei, die durch das Feuer aus dem Wasser getrieben werde. Denselben Gedanken vertritt der Italiener Gambettista della Porta, der 1558 sein Werk „Magna naturalis“ schrieb. „Diese Ansicht“, schreibt Beck in seinen „Beiträgen zur Geschichte des Maschinenbaues“, „hat sich bis gegen das 15. Jahrhundert erhalten. Nichtsdestoweniger ist die Aeolipyle, welche früher in keinem physikalischen Kabinett fehlte, von historischem Interesse, weil sie allmählich zu besserer und allgemeiner Kenntnis der Dampfkraft führte.“

Derartige Aeolipylen finden im Mittelalter mehrfach Erwähnung, z. B. bei Albertus Magnus in seiner Abhandlung „De Meteoris“. Der byzantinische Geschichtschreiber Agathias erzählt von Anthemios von Tralles, dem Erbauer der Sophienkirche: Anthemios lebte mit dem über ihm wohnenden Redner Zeno in großer Feindschaft. Um diesem einen gewaltigen Schrecken einzujagen, ersann er folgenden Apparat: In großen Becken, die nach oben hin mit trompetenförmigen Lederschläuchen verschlossen waren, wurde Wasser erhitzt. Die Schläuche waren an der Decke befestigt, und der in großer Menge sich entwickelnde Dampf strömte gegen dieselbe und versetzte, keinen Ausweg findend, die Balken des ersten Stockwerks mit mächtigem Getöse in heftige Erschütterungen. Zeno glaubte, die Erde erbebe in ihren Grundfesten, und stürzte im größten Schrecken auf die Straße.

Eine solche Aeolipyle war auch die sogenannte Dampfmaschine des Salomon de Caus, in dem der berühmte französische Gelehrte Arago den Erfinder der Dampfmaschine entdeckt zu haben glaubte. In seinem Buche über „Die Ursachen der bewegenden Kraft bei verschiedenen ebenso interessanten als nützlichen Maschinen“, das 1615 zu Frankfurt a. M. erschien, beschreibt Salomon de Caus seinen Apparat ausführlich.*) Es war eine hohle Metallkugel, die zwei durch Hähne verschließbare Öffnungen hatte. Die eine diente zum Einfüllen des Wassers, die andere bildete das Mundstück einer Röhre, die tief ins Innere des Gefäßes hineinragte. Füllte man nun das Gefäß mit Wasser, schloß den ersten Hahn, öffnete den zweiten und erhitzte dann das Gefäß, so wurde das Wasser durch den sich entwickelnden Dampf in starken Strahlen herausgetrieben. Salomon de Caus, der Gartenbaumeister Ludwigs XIII. war, verwandte diesen Apparat zum Betriebe von Springbrunnen. Die Geschichte seines traurigen Endes — er soll wegen der Tollheit seiner Erfindung von Richelieu ins Irrenhaus geworfen worden sein — ist ins Bereich der Legende zu verweisen.

Giovanni Branca, der Erbauer der Kirche von Loretto, berichtet von einem Apparat, bei dem der Dampf gegen die Schaufeln eines Rades blies, wodurch dieses in Umdrehung versetzt wurde und einen Bratenwender, ein andermal ein Stampfwerk zum Farbenzerkleinern betrieb. Die Erfindung des spanischen Schiffskapitäns Blasco de Garay, der 1543 ein Dampfboot gebaut haben soll, hat sich als ein Schiff mit Schaufelrädern erwiesen, das durch Menschenkraft fortbewegt wurde.

1630 hat ein gewisser Ramseye in England ein Patent auf die Idee erhalten, „Wasser durch Feuer in tiefen Bergwerken zu heben“. Sonst

*) Beck, Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues.

wissen wir von ihm gar nichts, über die Art seiner Pläne und über deren Ausführung schweigt die Überlieferung.*)

In würdiger Weise schließt die Reihe derer, denen fälschlicherweise der Ruhmestitel des Erfinders der Dampfmaschine zuerkannt worden ist, der MARQUIS VON WORCESTER ab. Das 68. Kapitel seiner Schrift „A Century of the names and scientlings of the Marquis of Worcesters Inventions" handelt von der Anwendung der Dampfkraft. Schon die Art und Weise, in der er seine Erfindung beschreibt, muß zu Bedenken Anlaß geben. Wir lassen seine Worte folgen:

„Ich habe ein Stück von einer ganzen Kanone, deren Ende zersprungen war, genommen und zu drei Viertel mit Wasser gefüllt, und nachdem ich das zerbrochene Ende, sowie das Zündloch verstopft und verschraubt und ein anhaltendes Feuer darunter gemacht hatte, barst es nach 24 Stunden mit einem lauten Knall, so daß, nachdem ich ein Mittel gefunden hatte, meine Gefäße so zu machen, daß sie durch die Kraft darin verstärkt werden und sich eins nach dem andern füllt, ich das Wasser in einem andauernd 40 Fuß hohen Springbrunnen-Strahle ausströmen sah. Ein Gefäß, das durch Feuer verdünnt wird, treibt 40 Gefäße kaltes Wasser in die Höhe, und ein Mann, der den Apparat bedient, hat nur zwei Hähne zu drehen, damit, wenn ein Gefäß voll Wasser verbraucht ist, ein anderes zu drücken anfängt und so sich wieder mit kaltem Wasser füllt und so abwechselnd, wobei das Feuer gewartet und gleichmäßig erhalten wird, was dieselbe Person gleichfalls in der Zwischenzeit zwischen den notwendigen Umdrehungen der genannten Hähne besorgen kann."**) Einerseits erscheint es uns hierbei verwunderlich, daß das Kanonenrohr geborsten und nicht die Verstopfung hinausgeflogen sein soll, andererseits muß uns die Länge der angegebenen Zeit stutzig machen. Auch die Beschreibung der Maschine ist höchst unklar und rechtfertigt das Urteil, das Dr. E. GERLAND über ihn fällte: „Die begeisternden Erklärungen des Erfinders haben dieselbe Beweiskraft für den kühnen Flug seiner Phantasie, wie gegen die wirkliche Ausführung seiner Maschine."

Allen diesen zum Teil ganz hübschen Versuchen fehlte vollständig die wissenschaftliche Auswertung, die nur auf dem Boden einer klaren Naturerkenntnis erfolgen konnte. Nur auf einem solchen konnte die Erfindung der Dampfmaschine emporwachsen. Sie zu schaffen, war erst jener Epoche beschieden, die wie auf allen Gebieten menschlicher Tätigkeit, so auch hier eine neue Periode selbständigen geistigen Schaffens und Strebens her-

---

*) MATSCHOSS, Die Geschichte der Dampfmaschine S. 30. Aus BECK S. 265.

**) BECK, Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues.

aufführte: der Renaissance. Weit wichtiger als jene physikalischen Spielereien dürften demnach für PAPIN die großen naturwissenschaftlichen Forschungsergebnisse jener Zeit gewesen sein. TORRICELLI entdeckte 1643 die Schwere der Luft und wies die Möglichkeit eines luftleeren Raumes nach, an der man bisher gezweifelt hatte. Durch die Erfindung der Luftpumpe und die bekannten Experimente des Magdeburger Bürgermeisters OTTO VON GUERICKE wurden weitere unerläßliche Vorbedingungen für PAPINS Arbeiten erfüllt. Jetzt war die Zeit gekommen, in der der Erfinder der Dampfmaschine geboren werden mußte.

II. Die Erfindung der Dampfmaschine.

Dionysius Papinus, Medicin. Doctor, Mathes. Prof. Publ. Marburgensis, Consiliarius Hassiacus ac Regiae Societatis Londinensis socius, war der Mann, der die erste betriebsfähige Dampfmaschine zu bauen und die wissenschaftliche Grundlage zu deren weiterem Ausbau zu legen berufen war. Geboren am 22. August 1647 zu Blois in Frankreich besuchte er das Gymnasium seiner Vaterstadt und bezog schon mit 15 Jahren die Universität in Angers. Dort widmete er sich dem Studium der Medizin, doch trieb er daneben auch Mathematik und Physik. Im Jahre 1669 promovierte er bereits zum Doktor der Medizin. Nach seiner Promotion ließ er sich in Angers als Arzt nieder, ging aber bald nach Paris und wir können als ziemlich sicher annehmen, daß der junge Gelehrte seit 1671 seinen ständigen Wohnsitz in Paris hatte. In Paris lernte Papin den berühmten holländischen Astronomen und Physiker Christian Huygens van Zuilichem kennen. Huygens war Mitglied der Akademie der Wissenschaften. Papin wurde Ammanuensis (Assistent) bei Huygens und es begann für ihn eine reiche wissenschaftliche Tätigkeit. Das Erbe Galileis hatte Huygens angetreten und besonders auf dem Gebiete der Astronomie, Mathematik und Physik Hervorragendes geleistet. Der vom Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke beziehungsweise von Robert Boyle erfundenen Luftpumpe hafteten noch verschiedene Mängel an, welche zur Durchführung wirklich genauer Versuche erst beseitigt werden mußten. Durch Hinzufügung des Tellers, sowie einiger anderer Verbesserungen und durch Verwendung der Barometerprobe gelang es Huygens, eine Luftpumpe zu schaffen, mit welcher auch messende und vergleichende Versuche ausgeführt werden konnten. Mit Durchführung dieser Versuche wurde Papin beauftragt. Bei dieser Gelegenheit trat sein Geschick für Experimentalphysik, sowie sein Talent im Anfertigen von Instrumenten zum erstenmal zutage. Die Untersuchungen erstreckten sich zunächst auf das Verhalten von Pflanzen, Früchten, Tieren und Schießpulver im luftverdünnten Raum; besonders erwähnenswert sind die Versuche, Fleisch und Früchte unter Luftabschluß zu konservieren.

In diese Zeit seines Pariser Aufenthaltes fällt auch ein Ereignis, wel-

ches für PAPIN später von weittragendster Bedeutung werden sollte: LEIBNIZ kam nach Paris und wurde dort zuerst auf PAPIN und seine Arbeiten aufmerksam und verfolgte seitdem die weiteren Schicksale des jungen Gelehrten mit großem Interesse. Lange währte jedoch PAPINS Aufenthalt im HUYGENSschen Laboratorium nicht. Im Jahre 1674 wandte er sich nach England „spe quadam inductus, ut conditionem hic loci, genio suo accommodam nancisceretur [Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum Continuatio II Genevae 1682, praefatio]", und um mit BOYLE zusammen an der Verbesserung seiner aus Paris mitgebrachten Luftpumpe zu arbeiten. Der Erfolg der gemeinschaftlichen Versuche war der Bau der ersten zweistiefeligen Luftpumpe, die somit PAPIN und nicht, wie man bisher fälschlicherweise annahm, HOOKE zuzuschreiben ist.

Am 16. Dezember 1680 wurde PAPIN auf ROBERT BOYLES Vorschlag von der Royal Society zu ihrem Mitgliede ernannt. Aus Dankbarkeit widmete er im folgenden Jahre der Society sein Werk: A New Digester or Engine, for softaing Bones, containing the Description of its Make and Use in Cookery, Voyages at Sea, Confectionary, Making of Dinks, Chymistry and Dying. etc.

Der in dieser Schrift beschriebene Digestor war es, welcher den Namen PAPINS in weitere Kreise trug. Die Einrichtung desselben war im wesentlichen die unserer heutigen Dampfkochtöpfe. Die mit diesem Apparat angestellten Versuche, welche zum größten Teile der Royal Society vorgeführt würden, verfolgten hauptsächlich den Zweck, an Brennmaterial zu sparen. Sodann versuchte er damit die „flüchtigen" Bestandteile des Fleisches zu erhalten und Früchte zu konservieren. Die verschiedenen Experimente mit dem neuen Apparat teilte er ein in „Experiences, pour les Cuisiniers, pour les Confiseurs, pour les Brasseurs, pour les Chymistes, pour les Teinturiers". Während PAPIN noch mit diesen Arbeiten beschäftigt war, lernte er den Senatssekretär der Republik Venedig, SAROTTI, kennen, der nach London gekommen war und die Absicht hatte, nach dem Vorbild der Royal Society eine Akademie zu gründen, „ad indagandas res naturales, et promovendas magis magisque vitae humanae commoditates". SAROTTI trug PAPIN die Mitgliedschaft an der neuen Akademie an und PAPIN ging darauf ein. Über Paris, wo ihm ein ehrenvoller Empfang zuteil wurde, begab sich PAPIN 1681 nach Venedig. An der neuen „Academia publica di scienze filosofiche e matematiche" setzte PAPIN seine Experimente mit der Luftpumpe fort. Lange blieb der Franzose nicht in Venedig, denn im Jahre 1684 war er schon wieder in London. In sein früheres Verhältnis zu ROBERT BOYLE trat er nicht wieder, sondern er wurde zum „temporary curator of experiments" mit einer Vergütung von 30 Pfund Sterling er-

nannt. In seiner neuen Stellung hatte er die Aufgabe, für jede Sitzung der Royal Society Experimente vorzubereiten. Die Stellung scheint Papins Wünschen sehr entsprochen zu haben, denn er blieb in derselben bis zu seinem Weggange von London. Die von Papin ausgeführten Experimente sind teils in den Protokollen der Royal Society, teils in den Philosophical Transactions niedergelegt. Die Untersuchungen waren mannigfaltigster Art. Eingehende Versuche mit Filtern, der Konstruktion eines Hebers, sowie einer Pumpanlage, bei welcher das Wasser durch verdünnte Luft zum Steigen gebracht wurde; Verbesserungen an seinem Digestor und an der Luftpumpe waren die hauptsächlichsten Arbeiten, mit denen sich Papin während seines zweiten Londoner Aufenthaltes beschäftigte. Auch erfand er in dieser Zeit ein Sicherheitsventil, welches er bei seinen späteren Experimenten benutzte.

Inzwischen war nun ein Ereignis eingetreten, welches damals durchgreifende Veränderungen vor allem in Frankreich hervorrief. Ludwig XIV., der allerchristlichste König, hatte am 18. Oktober 1685 das Edikt von Nantes aufgehoben. Wenn auch Papin von den Folgen dieses Machtspruches nicht unmittelbar berührt wurde, so war ihm doch jegliche Rückkehr in sein Vaterland abgeschnitten.

Seine Verwandten hingegen mußten Frankreich verlassen. Paul Papin, ein Bruder unseres Gelehrten, ging nach England, seine Tante Madeleine Papin mit Tochter und Schwiegersohn nach Marburg, wohin letzteren, Jacob de Maliverné, der Landgraf Karl von Hessen als Professor für französische Sprache, Geographie und Heraldik berufen hatte. Gleichzeitig mit dieser Berufung erging an Denis Papin der ehrenvolle Ruf des hessischen Fürsten, den Lehrstuhl für Mathematik und Hydraulik in Marburg zu übernehmen. Papin nahm gerne an und teilte seinen Entschluß am 22. November 1687 der Royal Society brieflich mit. Gegen Ende des Jahres reiste Papin von London über Holland nach Deutschland. Im Haag besuchte er Huygens, welcher seit 1681 in die Heimat zurückgekehrt war, und ging dann nach Kassel, um sich dort dem Landgrafen vorzustellen. Zu Beginn des Jahres 1688 habilitierte sich der neue Professor in Marburg. Aus einer brieflichen Mitteilung an Huygens und aus seiner Antrittsrede ersehen wir, daß Papin in vierstündiger Vorlesung Hydraulik vortrug.

In Marburg setzte Papin, da ihm seine Kollegien wenig Zeit wegnahmen, seine in Paris und London begonnenen Arbeiten fort. Als erste seiner Erfindungen müssen wir die Zentrifugalpumpe nennen, deren ausgedehnte Verwendungsfähigkeit erst die moderne Technik erkannt hat. Der Landgraf Karl war zu jener Zeit damit beschäftigt, die Karlsaue, einen

Lustpark nach französischem Muster, auf einem zwischen den beiden Fuldaarmen bei Kassel gelegenen Gelände anzulegen. Die Entwässerung des Parkes gestaltete sich sehr schwierig, da das Grundwasser so rasch nachdrang, daß es mit gewöhnlichen Pumpen nicht bewältigt werden konnte. Da Papin die Idee der Zentrifugalpumpe bereits von London mitgebracht hatte, so bot sich ihm eine willkommene Gelegenheit, die Leistungsfähigkeit seines Apparates auszuprobieren. Er machte dem Landgraf den Vorschlag, seine neue Pumpe für die Entwässerungsanlage zu benützen. Der Landgraf war mit diesem Projekt einverstanden, und bei einem Besuche des Fürsten in Marburg kurz nach Papins Habilitierung konnte der Professor seinem Landesherrn die fertige Maschine vorführen. In den acta eruditorum vom Jahre 1689 S. 317 ist die Erfindung unter dem Titel „Dion. Papini Rotalis Suctor et Pressor Hassiacus in serenissima Aula Casselana demonstratus et detectus" veröffentlicht.

Da man naturgemäß zu der notwendigen schnellen Rotation eine andauernde und gleich stark bleibende Kraft bedurfte, so reichten Menschenkräfte nicht aus, um die Maschine im Betrieb zu erhalten. Papin mußte daher sein Augenmerk auf mechanischen Antrieb richten.

Die Lösung dieses Problems gab den Anstoß zum Bau der ersten Dampfmaschine. Er griff deshalb zunächst auf Versuche, welche er seiner Zeit in Paris im Laboratorium Huygens gemacht hatte, zurück. 1674 hatte er dem französischen Minister Colbert die angeblich vom Abbé von Hautefeuille erfundene, von Huygens aber verbesserte Maschine, welche durch die Explosivkraft des Pulvers in Tätigkeit gesetzt wurde, vorgeführt. Diese Pulvermaschine verbesserte Papin zunächst, doch mußte er sich bald überzeugen, daß auch seine verbesserte Maschine, welche er in den acta 1688 veröffentlichte, nicht den Anforderungen genügte, die man an einen zuverlässigen Kraftmotor stellen mußte. Da erinnerte er sich an seine Versuche mit dem Digestor in London, und er beschloß, beide Erfindungen zu kombinieren. Kolben und Zylinder hatte er bei der Schießpulvermaschine, die Dampfkraft bei dem Digestor verwandt, und bald stand vor seinem geistigen Auge das Bild einer Maschine, bei welcher der Kolben durch die Dampfkraft emporgehoben werden sollte.

Im Jahre 1690 veröffentlichte er eine neue Schrift: „Nova methodus ad vires motrices validissimas levi pretio comparandas" „Neue Methode die größten Triebkräfte mit leichter Mühe zu erzeugen" war die Abhandlung über die neue Maschine in den acta von 1690 überschrieben: „ea sit aquae proprietas, ut exigua ipsius quantitas vi caloris in vapores conversa vim habeat elasticam instar aeris, superveniente autem frigore in aquam iterum ita resolvatur, ut nullum dictae vis elasticae vestigium remaneat; facile

credidi, construi posse machinas, in quibus aqua mediante calore non valde intenso, levibusque sumptibus, perfectum illud vacuum efficeret, quod pulveris pyrii ope nequaquam poterat obtineri." „... Das Wasser besitzt die Eigenschaft, daß, sobald es durch Wärme in Dämpfe verwandelt ist, schon eine kleine Menge desselben so elastisch wird wie Luft, wenn aber Kälte hinzukommt, es sich wieder in Wasser auflöst, so daß es vollständig aufhört elastisch zu sein; ich glaubte nun, daß man leicht Maschinen bauen könnte, in denen das Wasser mittels mäßiger Wärme und bei geringem Kostenaufwand jenes vollkommene Vakuum hervorbrächte, dessen Erzeugung mit Hilfe des Schießpulvers noch nirgends gelungen ist."

Die in den acta befindliche Zeichnung dieser Maschine ist in Fig. 1 wiedergegeben. Die Bauart der Maschine ist analog der HUYGENSschen Pulvermaschine, welche PAPIN ja als Ausgangspunkt benutzte. Es kam ihm vor allem darauf an, den Mangel der Pulvermaschine, nur einen unvollkommenen luftleeren Raum erzeugen zu können, zu beseitigen. Er ersetzte daher das Schießpulver durch Wasser, welches er erhitzte. Bei der Verdampfung vergrößert sich nun das Volumen, „vim habet elasticam", und bei der nachfolgenden Abkühlung des Zylinders schlagen sich die Wasserdämpfe derart nieder, daß ein vollkommen luftleerer Raum entsteht (perfectum illud vacuum [Vakuum!] efficeret). Durch Verwendung des Wassers fiel die umständliche Erneuerung des sich ausdehnenden Stoffes, des Schießpulvers bei der HUYGENSschen Maschine, weg, da das einmal im Zylinder befindliche Wasser immer wieder verwendet werden konnte. Die Konstruktion der Maschine war sehr einfach: In das zylindrische Gefäß (siehe Figur) wird

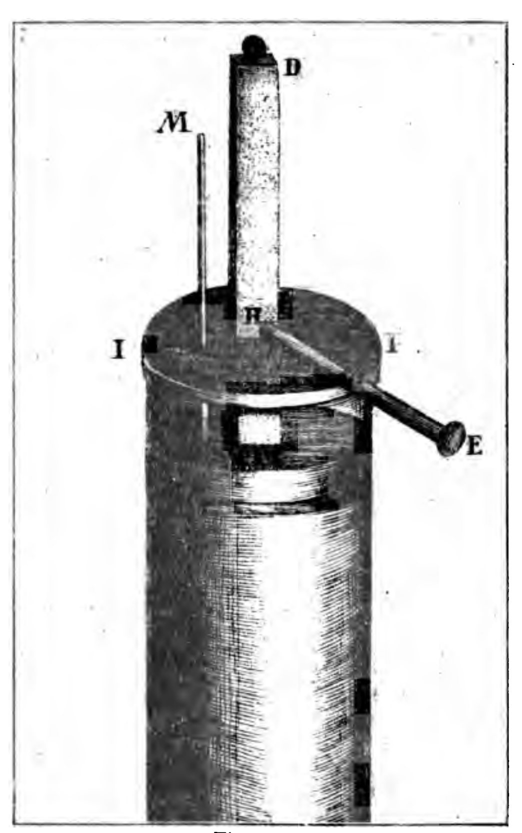


Fig. 1.
Die atmosphärische Maschine vom Jahre 1690.

eine kleine Menge Wasser gegossen, „3 bis 4 Linien Höhe"; hierauf wird der genau eingepaßte, mit Wasser gedichtete Kolben *BB* herabgestoßen, hierbei entweicht die komprimierte Luft durch die im Kolben angebrachte kleine Öffnung. Hat man den Kolben nun völlig herabgestoßen, so wird die kleine Öffnung durch eine Eisenstange *M* geschlossen. Der Zylinder selbst ist oben offen, hat aber noch einen Ansatz bezw. Aufbau, an welchem eine kleine kreisrunde Eisenplatte *II* derartig befestigt ist, daß eine Geradeführung der rechteckigen Kolbenstange *DD* und der kleinen Eisenstange bewirkt wird. An der Kolbenstange *k* befindet sich eine Nut *H* in der Weise angebracht, daß in dem Moment, in welchem der Kolben seinen höchsten Stand erreicht hat, ein durch eine Spiralfeder bewegter Hebel *E* mit lautem Geräusch einschnappt Der Arbeiter, welcher die Maschine zu bedienen hatte, nahm nun den ganzcn Zylinder vom Feuer hinweg, worauf sich die Wasserdämpfe im Innern des Zylinders niederschlugen und ein Vakuum entstand. Durch Lösung des Hebels wurde der vorher arretierte Kolben frei, und der in der Atmosphäre herrschende Luftdruck drückte den Kolben in das Innere des Zylinders, wodurch Arbeit geleistet wird. Zur Übertragung der Kraft war am freien Ende der Kolbenstange ein Ring zur Aufnahme eines Taues angebracht. Über die Wirkungsweise dieser Maschine äußert sich Papin ausführlich in den „acta" und es soll an anderer Stelle näher darauf eingegangen werden.*)

Zu einer betriebsfähigen Ausführung dieser Dampfmaschine von 1690 scheint es nicht gekommen zu sein, zumal in den nächsten Jahren Papins Leben durch andere Dinge: Erfindung einer Taucherglocke, verschiedener Ofenkonstruktionen, Streitschriften gegen Leibniz und andere Gelehrten derartig ausgefüllt war, daß er für seine Lieblingsidee, die Vervollkommnung der Dampfmaschine, keine Zeit mehr übrig hatte.

Wie sich Papins persönliche Verhältnisse in Marburg gestalteten, können wir aus dem Briefwechsel mit seinem früheren Lehrer Huygens ersehen. Wir erfahren, daß sich Papin schon um 1690 nicht mehr behaglich in Marburg fühlte. Die Verhältnisse erschienen dem weitgereisten und vielerfahrenen Manne zu kleinbürgerlich. Zwistigkeiten mit Amtskollegen, der schlechte Besuch seiner Kollegien machten ihm den Aufenthalt in Marburg nicht angenehm. „Weil die geringe Anzahl Studenten", schreibt er 1690 an Huygens, „welche hierher kommt, allein hier sind, um es dahin zu bringen, ihr Leben durch das Studium der Theologie, des Rechts und der Medizin zu fristen, und nach der Art, wie diese Wissenschaften bis jetzt

*) Siehe S. 31 f.

betrieben werden, die Mathematik hierzu nicht nötig ist", blieben seine Kollegien zum großen Teile leer. Zudem war der Landgraf durch die fortwährenden Kriege mit Frankreich abgehalten, den Arbeiten Papins das Interesse entgegenzubringen, das der Gelehrte erwartet haben mochte. Auch seine geringen Einnahmen mögen seine Unzufriedenheit noch mehr erhöht haben. Betrug doch sein Gehalt in den ersten Jahren nur 150 fl., wenn ihm auch eine baldige Erhöhung in Aussicht gestellt war. Als er sich nun zu Anfang des Jahres 1691 mit seiner Cousine, der Witwe des inzwischen verstorbenen Professor Maliverné verheiratete, reichte sein geringes Gehalt nicht mehr aus und er kam beim Landgrafen um Gehaltserhöhung ein. Sein Gesuch wurde aber abschlägig beschieden. „Die Einkünfte der Akademie", schreibt er an Huygens, „sind sehr mittelmäßig und infolge des Krieges im voraus schwer zu erhalten, so daß ich glaube, daß es diesen Herren großes Vergnügen machen würde, wenn sich ihnen ein anständiges Mittel böte, sich meiner zu entledigen." Im Jahre 1692 reichte Papin, da ihm die in Aussicht gestellte Gehaltserhöhung nicht zuteil wurde, sein Abschiedsgesuch ein; dieses wurde jedoch nicht genehmigt, es hatte vielmehr lediglich die Folge, daß er die in Aussicht gestellte Gehaltszulage von 40 fl. jährlich bekam.

Auch Streitigkeiten, welche innerhalb der französischen Gemeinde in Marburg aus kleinlichen Anlässen entstanden, machten Papins Stellung nicht gerade angenehmer. So entstand mit dem Perückenmacher Boiseviel ein Streit, welcher zur Folge hatte, daß Papin auf einige Zeit von dem Abendmahlsgenusse der reformierten Gemeinde ausgeschlossen wurde. Erst durch Intervention des Landgrafen wurde der Konflikt beigelegt.

Solche unleidliche Ereignisse veranlaßten wohl Papin sich schon zu Beginn der 90er Jahre mehr und mehr in Kassel am Hofe des Landgrafen aufzuhalten. Infolgedessen wurde auch dort ein großer Teil seiner Experimente durchgeführt.

Seit 1695 hielt sich nun Papin dauernd in Kassel auf und erfreute sich der Gunst des Landgrafen in hohem Maße, wenn auch der fürstliche Gönner infolge auswärtiger Kriege und Unternehmungen den wissenschaftlichen Bestrebungen Papins nicht dasjenige Interesse entgegen bringen konnte, das notwendig gewesen wäre, um die Entdeckungen und Erfindungen des genialen Franzosen zu dem Erfolge zu führen, der ihnen von rechtswegen gebührte.

So kam es, daß erst im Jahre 1698 Papin die Arbeiten an seiner Dampfmaschine wieder aufnahm, und zwar veranlaßt durch den Landgrafen Karl. Im Gebiete des Landgrafen waren salzhaltige Quellen entdeckt worden,

der Fürst ließ Versuche anstellen, um die Ursache dieses Salzgehaltes festzustellen. Das Wasser dieser Quellen mußte zu diesem Zwecke gehoben werden: PAPIN, der mit dieser letzteren Aufgabe betraut war, erschien dazu „la force du feu“ am geeignetsten. Er schreibt, er habe mit ihr schon einige erfolgreiche Versuche angestellt, so daß er überzeugt sei, daß man diese Kraft noch für wichtigere Dinge als zum Heben von Wasser verwenden könne.

Er beabsichtigte dabei nicht allein die Saugwirkung sondern auch die Druckwirkung des Dampfes zur Krafterzeugung zu verwenden, wie dies aus seinem am 23. Juli 1698 an LEIBNIZ gerichteten Briefe hervorgeht:

„Je le fais à present, d'une manière plus facile a bien executer que celle que J'ay publiée: et de plus, outre la suction dont Je me servoit, J'emploie aussi la force de la pression que l'eau exerce sur les autres corps en se dilatant . . . . .“ *)

Wir sehen, daß PAPIN sich bereits vollständig über das Prinzip der Hochdruckmaschine klar war, und er sah sich nun vor die Aufgabe gestellt, seine Kenntnisse von den Eigenschaften des Dampfes in eine praktische und betriebssichere Maschine zu verwerten. Es galt also zunächst den Bau einer solchen Maschine zu verwirklichen.

So einfach ihm auch die Herstellung seiner Maschine theoretisch vorkam, so stellten sich doch der praktischen Ausführung ungeahnte Schwierigkeiten in den Weg. Denn die Herstellung der für die Maschine benötigten großen Zylinder konnte mit den bisherigen Ofenkonstruktionen nicht bewerkstelligt werden. Es mußte deshalb zuerst ein neuer Ofen konstruiert werden, welcher die Herstellung von Zylindern auch in größeren Dimensionen ermöglichte. Diese Aufgabe hatte PAPIN bald zur Zufriedenheit gelöst. Er war jetzt in der Lage große Zylinder fabrizieren zu können, doch fehlte es ihm jetzt an einem definitiven Auftrag zur Ausführung der neuen Dampfmaschine. In seiner Hoffnung, vom Landgraf bald mit der Herstellung der zur Hebung der Salzquellen nötigen Maschine betraut zu werden, sah er sich getäuscht. Auch ein anderes Projekt, Wasser aus der Fulda zu heben, schien anfangs gescheitert zu sein, denn er schreibt am 25. Juli 1898 an LEIBNIZ: „Obgleich der Landgraf sehr befriedigt schien über alles das, was ich über diesen Gegenstand gearbeitet habe, so weiß ich nicht, aus welchem Grunde Seine Durchlaucht mir nicht die Ehre erwiesen hat, mich bei dem Plane zu verwenden, welcher bezweckte, das

*) „Ich erreiche dasselbe auf eine viel bequemere als auf die (1690) veröffentlichte Art: denn außer der Saugwirkung, deren ich mich bisher bediente, verwende ich auch den Druck (Spannung), welchen das Wasser bei seiner Ausdehnung (Verdampfung) auf die andern Körper ausübt.“

Wasser der Fulda auf einen der Türme seines Schlosses zu heben.“ Leibniz suchte jedoch seinen Schützling Papin zu trösten, denn er erwidert ihm hierauf: „Ich glaube den Grund zu kennen, warum Seine Durchlaucht der Landgraf einen andern damit beauftragt hat, Wasser auf den Turm seines Schlosses zu heben, es dürfte wohl der sein, daß der Fürst es vorzieht, Ihnen die Erledigung außergewöhnlicher Aufgaben zu überlassen, als Sie zu Dingen zu verwenden, die ein anderer auch machen kann.“ . . .

Bald zeigte sich, wie recht Leibniz mit seinen Ausführungen hatte. Denn als Papins „Konkurrent“ seine Pumpe fertig gestellt hatte, zeigte es sich, daß sie nicht imstande war, die geforderte Arbeit zu leisten. Nun sollte Papin zeigen, was er konnte. Der Landgraf erteilte ihm den Auftrag, für dieselbe Pumpanlage eine Maschine nach seinen Plänen zu bauen. Im November 1698 war die neue Maschine so weit gediehen, daß man an die Aufstellung denken konnte. Leider sollte sie nie vollendet werden. Das Fundament, welches die Maschine tragen sollte, war im Flußbett der Fulda errichtet, aber nicht genügend befestigt und geschützt, so daß ein ungewöhnlich früher Eisgang im November 1698 dasselbe wegriß und die Fundamentplatte in den Fluten begrub. Mag sein daß Papin selbst einen Teil der Schuld an diesem Mißerfolg trifft, etwa dadurch, daß er nicht genügende Vorsichtsmaßregeln getroffen hatte. Immerhin war ein derartig früher Eisgang etwas Ungewöhnliches. Auch der Landgraf wollte Papin nicht für das Unglück verantwortlich machen und widmete dem Unternehmen nach wie vor sein Interesse. Die Arbeiten an der Maschine gerieten jedoch durch eine Reise des Landgrafen nach Baden, sowie durch eine längere Abwesenheit Papins selbst in Stockungen. Auch der anregende briefliche Gedankenaustausch mit Leibniz stockte und wurde erst gegen Anfang des Jahres 1702 auf Veranlassung Leibnizens wieder aufgenommen. Die Arbeiten an der Dampfmaschine schienen in weite Ferne gerückt, denn der Kasseler Gelehrte befaßte sich — in den Jahren 1698 bis 1704 — mit der Konstruktion neuer Wurfmaschinen, um, wie er sich naiv ausdrückt: „finir bientot les malheurs de la guerre.“

So waren zwar die Grundlagen geschaffen, theoretisch, wie praktisch war alles für die neue Maschine vorbereitet, doch sollte es noch einige Jahre dauern, bis Papin seine Erfindung ausbauen und vollenden konnte.

„Herr Doktor SLARE“, schreibt PAPIN 1699 an LEIBNIZ, „hat mir vor kurzem aus England mitgeteilt, daß man in Gegenwart einer Parlamentskommission eine Maschine geprüft hat, um Wasser mit Feuerskraft zu heben, aber man war weit davon entfernt, den Erfolg zu erzielen, welchen der Erfinder erwartet hatte: Leider hat er mir über die Konstruktion nichts mitgeteilt.“

Dies waren die ersten Nachrichten, welche PAPIN von der SAVERYschen Maschine aus England erhielt. Aus der Briefstelle geht hervor, daß ihm 1699 über die Konstruktion der SAVERYschen Maschine noch nichts bekannt war, während er schon 1698 das Prinzip seiner Hochdruckmaschine festgelegt hatte. Betrachten wir dazu die ganze Entwicklung PAPINS: die Schießpulvermaschine, die Maschine von 1690 und 1698, so kommen wir zu der Überzeugung, daß sich PAPIN seine Kenntnisse von dem Verhalten der Gase und Dämpfe aus eigener Anschauung erworben hatte. Seine Priorität dürfte demnach über allen Zweifel erhaben sein. Ob dagegen SAVERY PAPINsche Ideen seinen Experimenten zugrunde gelegt hat, vermögen wir nicht zu entscheiden, da uns das entsprechende historische Material nicht zur Verfügung steht.

Die eigentliche Erfindungsgeschichte der Dampfmaschine deckt sich sonach mit der Entstehungsgeschichte der PAPINschen Maschine von 1706. Im folgenden soll diese näher dargestellt werden.

Über die Natur der Dämpfe waren sich PAPIN und LEIBNIZ in ihrem ausgedehnten Briefwechsel klar geworden. Insbesondere hatten sie den Begriff der Spannkraft (fulmination) festgelegt. Durch die Versuche mit der Maschine von 1698 waren PAPINS Kenntnisse noch wesentlich erweitert worden. Die Herstellung großer Zylinder war ermöglicht durch PAPINS Ofenkonstruktion. Versuche, bei denen die Wandstärke der eisernen Zylinder bestimmt werden sollte, waren glücklich abgelaufen. Die notwendigen Vorbereitungen zum Bau einer größeren brauchbaren Maschine waren getroffen, alles in schönster Ordnung, als wieder ein neues Hindernis sich der definitiven Ausführung in den Weg stellte. Das Interesse des Landgrafen schien erloschen. Mag nun der Grund für diese plötzliche Interesselosig-

keit des Fürsten in den lange Jahre sich hinziehenden Vorbereitungen zu suchen sein, oder war er durch politische Angelegenheiten so sehr in Anspruch genommen, daß er keine Zeit mehr für die Experimente hatte, welche nur in seinem Beisein stattfinden durfte, PAPIN blickte wieder kurz vor dem Ziele trostlos in die Zukunft. Da kam der Zufall dem genialen Franzosen zu Hilfe. Am 6. Januar 1705 sandte LEIBNIZ eine Zeichnung der Maschine SAVERYS ohne jegliche Beschreibung, so wie er sie aus England erhalten hatte an PAPIN. (Für diesen selbst bot diese Maschine ja nichts Neues, er hatte den Übelstand welcher der SAVERYschen Maschine noch anhaftete, daß nämlich die heißen Dämpfe auf das kalte Wasser trafen, bei seinen Entwürfen schon längst beseitigt, und hielt die Einrichtung, daß die Maschine das Wasser selbst ansaugen mußte, für mangelhaft.) Die Zeichnung, welche er von LEIBNIZ erhalten hatte, legte PAPIN seinem Fürsten vor und „der Anblick der englischen Zeichnung", schreibt er an LEIBNIZ, „erinnerte meinen gnädigen Herrn an die Experimente, welche er mich vor Jahren unter Zugrundelegung desselben Prinzipes hatte machen lassen ...... und Seine Hoheit hatte mir die Ehre erwiesen, mich damit zu beauftragen, diese Kraft (Dampfkraft) zum Betriebe einer Getreidemühle anzuwenden."

Der Auftrag zum Bau der ersten Hochdruckdampfmaschine war damit erteilt. Ob den Landgraf dabei der Ehrgeiz getrieben hat, nicht hinter den englischen Versuchen zurückzubleiben, oder ob er den eindringlichen Bitten seines Rates endlich nachgegeben und die Mittel zum Bau der neuen Maschine bewilligt hat, kann unberücksichtigt bleiben. PAPIN sah sich plötzlich dem Ziel seiner Wünsche erheblich näher gerückt und machte sich mit neuem Eifer ans Werk. Über den Verlauf der Vorarbeiten berichtet er am 23. März 1705 an LEIBNIZ: „Ich kann es Ihnen versichern, je mehr ich vorwärts komme, umsomehr sehe ich mich im Stande, den Wert dieser Erfindung zu schätzen, die der Theorie nach die Kräfte des Menschen ins Unendliche steigern muß. Was aber die praktische Seite anbelangt so glaube ich ohne Übertreibung sagen zu dürfen, daß mit Hilfe dieses Mittels ein einziger Mensch die Arbeiten von Hunderten ohne dasselbe verrichten wird. Allerdings gebe ich zu, daß Zeit dafür erforderlich sein wird, um es bis zu dieser Vollendung zu bringen. Sie können überzeugt sein, daß ich mein möglichstes tun werde, damit die Sache gut und zur Zufriedenheit von statten geht, obwohl man hier nur mit großer Mühe brauchbare Arbeiter erhalten kann. Indessen hoffe ich, daß mit Gottes Hilfe die Geduld endlich über alle Schwierigkeiten triumphieren wird."

Während des Baues entwickelt sich nun ein sehr anregender und lehrreicher Briefwechsel zwischen PAPIN und LEIBNIZ, aus welchem wir

interessante Einzelheiten über den Werdegang der ersten Dampfmaschine entnehmen können.

„Nach der ganzen Art der Anordnung besteht die Hauptschwierigkeit darin, genügend starke Röhren zu erhalten, welche imstande sind dem Druck zu widerstehen", schreibt PAPIN am 23. Juli 1705 an LEIBNIZ. Wie wir später hören, stellte er auch alsbald Versuche an, um die Wandstärke seiner Gefäße durch das Experiment zu bestimmen; wenn er auch über das Resultat seiner Untersuchungen keine näheren Mitteilungen macht, so können wir doch annehmen, daß er bald die nötige Stärke des dampferzeugenden Gefäßes, des Dampfzylinders und des Steigrohres, welche er zur Anfertigung seiner Maschine benutzte, festgestellt hatte.

Über die Anwendung des Dampfkolbens verbreiten sich sowohl PAPIN als auch LEIBNIZ ausführlich. In dem oben angeführten Briefe vom Juli 1705 legt PAPIN die Gründe dar, welche ihn veranlaßten einen Kolben zu verwenden: „Ich entdeckte", sagte er, „bei diesen Versuchen auch andere überraschende Erscheinungen, die mich zum Nachdenken veranlaßten, um ihre Ursache ausfindig zu machen. Ich bin überzeugt, daß es nicht von Vorteil sein werde, wenn man versucht, das Wasser nur unter Anwendung des direkten Dampfdruckes auf große Höhen emporzudrücken, weil die gasförmigen Dämpfe, sobald sie heftig auf das kalte Wasser stoßen, wie dies notwendig ist, um das hohe Steigen zu veranlassen, unmöglich ihre Energie bewahren können; denn sie kondensieren sofort infolge des kalten Wassers und je heißer sie sind, um so heftiger bläst das Sicherheitsventil ab; und zwar derartig, daß das Sicherheitsventil, welches von selbst infolge der unter ihm befindlichen Spannkraft 'schlägt', eine große Bewegung im Wasser verursacht: das also in Bewegung geratene Wasser ist viel eher geneigt eine große Menge Dampf zu kondensieren, als wenn seine Oberfläche in Ruhe bleibt, daher glaube ich sicher, daß dies der Grund ist, warum die Leistung im Wasserheben vermindert werde, wenn die Wärme zunimmt, wie ich Ihnen oben gesagt habe. — Ich habe geglaubt, es ist das Beste so zu konstruieren, daß die Dämpfe nicht unmittelbar das Wasser berühren, sondern ihre Stoßkraft durch Vermittlung eines Kolbens ausüben, welcher sich bald erwärmen wird und dann nur wenig Dampf kondensiert. — Das Experiment hat meine Behauptung bestätigt: Mit Hilfe dieses Kolbens ist die Wirkung viel besser, als wenn die Dämpfe unmittelbar mit dem Wasser in Berührung kommen."

Über die Konstruktion dieses Kolbens selbst sagt PAPIN, daß die Schwierigkeiten mit dem genauen Kolben aus dem Wege geschafft seien. LEIBNIZ wundert sich hierüber und frägt daher bei PAPIN an, wie er denn imstande gewesen sei, Kolben mit großer Genauigkeit herzustellen: „Ich sehe," ant-

wortet er, „daß Sie geglaubt haben, ich hätte noch eine neue Erfindung mit sehr genauen Kolben gemacht. Ich habe nicht im entferntesten daran gedacht; denn, wenn ich gesagt habe, daß keine Schwierigkeiten mehr mit dem genauen Kolben beständen, so kommt das daher, daß die Dämpfe, welche den Kolben nach unten stoßen, um das Wasser aus der Pumpe zu treiben, mehr Kräfte haben als das Wasser, welches getrieben wird: und so kann das Wasser, trotzdem der Kolben nicht ganz dicht ist, nirgends über den besagten Kolben treten, weil der Dampfdruck es daran hindert. Ich habe die Wirkung in einer Röhre von 16 Zoll Durchmesser beobachtet, und es ist kein Grund vorhanden, zu zweifeln, daß die Sache in dickeren Röhren genau so vor sich geht."

Mit Staunen haben wir aus der eben angeführten Briefstelle ersehen, daß Papin bereits die Wirkungen einer — sit venia verbo — kombinierten Oberflächen- und Einspritzkondensation beobachtet: „das also (durch das Schlagen des Sicherheitsventils) in Bewegung geratene Wasser ist viel eher geneigt eine große Menge Dampf zu kondensieren, als wenn seine Oberfläche in Ruhe bleibt". Eingehend werden ebenfalls die Vor- und Nachteile dieser Kondensation erörtert. Um bei Beginn des Hubes keine Kondensation zu haben, hatte er den Kolben eingefügt. Dies hatte aber den Nachteil, daß der Dampf nach Beendigung des Hubes sehr lange brauchte, um zu kondensieren. Doch schlug er den Gewinn durch die Vermeidung der Kondensation bei der Expansion höher an als die durch die Kondensation entstehende Saugwirkung: „Ich habe noch zwei Ideen," schreibt er am 17. September 1705 an Leibniz, „die man mit Vorteil bei der Feuermaschine verwenden kann. Die erste ist, Vorkehrungen zu treffen, daß man nicht mehr nötig hat, die Maschine erkalten zu lasten, um neues Wasser emporzutreiben. Es ist wahr, daß man dadurch die Saugwirkung verliert, welche entsteht durch die Luftleere, welche die sich niederschlagenden Dämpfe erzeugen. Aber dieser Verlust ist eine Kleinigkeit im Verhältnis zum Gewinn auf der anderen Seite: denn wenn der Dampfzylinder (vaisseau d'ou on chasse l'eau) so heiß ist, daß man Wasser auf große Höhe treiben kann, braucht man auch sehr viel Zeit, um ihn wieder erkalten zu lassen, und darnach braucht man wieder viel Dampf, um ihn auf das höhere Temperaturniveau zu bringen; dagegen wenn der Zylinder warm bleibt, braucht man nur wenig frischen Dampf, um den Vorgang zu wiederholen und eine gute Wirkung hervorzurufen. Dieser Gedanke ist bereits geprüft und hat sich bewährt."

Papin hatte also ganz richtig erkannt, daß der Zylinder möglichst warm gehalten werden müsse, und der später von Watt ausgesprochene Grundsatz: Der Zylinder muß so warm gehalten werden wie der Eintritts-

dampf, war ihm schon zu Bewußtsein gekommen, wenn er ihn auch noch nicht aussprach. Ja, wir können sagen, PAPIN war schon einen Schritt weiter gegangen: nämlich zur Verwendung des überhitzten oder Heißdampfes. Wie unglaublich diese Behauptung auch klingen mag, so sehe man sich doch die folgende Einrichtung der PAPINschen Maschine etwas näher an. Am 17. September 1705 schreibt er an LEIBNIZ: „Der zweite Gedanke ist folgender: Man bringt in den Dampfzylinder immer ein rot glühendes Eisen, so daß die Dämpfe, bei ihrem Eintritt unter Druck, noch Kraft gewinnen können durch ihr Zusammentreffen mit dem glühenden Eisen. Ich habe die Ehre gehabt, Ihnen kürzlich von dem ohrenbetäubenden Geräusch berichten zu können, welches ein Tropfen Wasser verursacht, der sich auf einem Stück glühenden Eisens befindet, wenn man mit dem Schmiedehammer darauf schlägt. Diese Beobachtung brachte mich zu der Überzeugung, daß diese neue Idee imstande sei, die Wirkungsweise (der Maschine) bedeutend zu erhöhen, einen geringen Dampfverbrauch zu erzielen, und demgemäß auch an Feuermaterial zu sparen. Daran arbeite ich jetzt mit allem Eifer.“ Vier Wochen später, am 19. Oktober 1705, hatte PAPIN die Wirkung dieses glühenden Eisenstückes bereits erprobt, und er teilte das Resultat seines Versuches LEIBNIZ mit: Die glühenden Eisenstücke haben auch eine gute Wirkung; aber diejenigen, welche ich benutzte, sind zu klein, und verloren bald ihre Wärme, so daß man schlecht sagen kann, wie groß der durch sie entstehende Vorteil ist: doch habe ich die Absicht, sie auch bei einer anderen Maschine anzuwenden, und Stücke von 20—30 Pfund Gewicht zu benutzen, welche imstande sind, eine sehr ausgiebige und andauernde Wärme zu spenden, und trotz ihres Gewichts ebenso leicht ausgewechselt werden könnten wie die von 1 und 2 Pfund. Ich bin überzeugt, daß man, wenn man diese Erfindung richtig ausbeutet, bald ganz erhebliche Wirkungen erzielen wird.“

Wenn auch auf der Hand liegt, daß die Anordnung dieser glühenden Eisenstücke keinen großen Vorteil ergab, so können wir doch hierin wohl die Uranfänge unserer modernen Heißdampfmaschinen erblicken, obgleich wir uns über die Art und Weise ihrer Verwirklichung eines Lächelns nicht enthalten können. Ein kleiner Schritt weiter, und erhebliche Vorteile wären erzielt worden. An die nahe liegende Trennung von Zylinder, Kondensator und Überhitzer dachte PAPIN nicht! Theoretisch hatte er die Aufgabe ja gelöst, aber beim Umsetzen in die Praxis wurden durch die ungeschickte Anlage und Ausführung die erhofften Vorteile wieder zu nichte. Die praktische Hand des Maschinenbauers war noch nicht ausgebildet und die Praxis konnte dem genialen Flug der Theorie noch nicht folgen.

— Im Briefe vom 19. Oktober 1705 nimmt Papin auch Stellung zu der Frage: Wie kann die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens in eine kontinuierliche Rotation umgewandelt werden? Da die Papinsche Maschine, wie wir später sehen werden, eine Art Dampfpumpe (l'invention pour elever l'eau par la force du feu) war, so war das Problem der Kontinuität der Bewegung verhältnismäßig einfach zu lösen: „Ich erziele", schreibt er an Leibniz, „ein ununterbrochenes Fließen, da ich die holländische Feuerspritze nachahme; ich habe es so eingerichtet, daß meine Maschine das Wasser in ein großes kupfernes Gefäß pumpt, in welchem Luft komprimiert wird, und diese Luft drückt dann ihrerseits wieder das Wasser in eine eigens zu diesem Zwecke angebrachte Ausflußleitung." Durch Wahl geeigneter Querschnitte und mit Hilfe der komprimierten Luft konnte man also ein ununterbrochenes Fließen erzielen.

Soweit über den konstruktiven Teil.

Aus dem Briefwechsel können wir ferner ersehen, daß Papin alles aufbot, um Leibniz zu veranlassen, beim Kurfürsten von Hannover sich für Anschaffung einer Papinschen Dampfmaschine zu verwenden. Denn Papin hatte wohl erkannt, daß man in Kassel seiner Erfindung nicht das Interesse entgegenbrachte, welches ihrer Bedeutung entsprach. Er versuchte daher mit dem Kurfürsten von Hannover in Verbindung zu kommen. Doch scheiterte Papins Plan an Leibniz' Vorsicht, welcher sich einer Ablehnung einer diesbezüglichen Anfrage von seiten seines Fürsten nicht aussetzen wollte. In seinen immer dringlicher werdenden Briefen setzt deshalb Papin ausführlich die Leistung, den Brennmaterialverbrauch, die Rentabilität seiner Maschine auseinander, er kommt auch auf die mannigfache Anwendungsmöglichkeit zu sprechen. Ferner wird die Frage der Kraftübertragung eingehend erörtert, um auch hiermit Leibniz zu veranlassen, seinem Fürsten die Anschaffung einer Maschine nahe zu legen. Die Leistung seiner Maschine wollte Papin, wie er in seinem Briefe an Leibniz äußert, mit Menschenkräften vergleichen. Leibniz wendet hiergegen ein, man könne besser nach Pferdekräften beurteilen. Dieser Ansicht schließt sich Papin an. Er schreibt am 31. Dezember 1705: „Daß ich nicht von der Kraft der Pferde gesprochen habe, um sie mit der Leistung der Feuermaschine zu vergleichen, hat in folgendem seinen Grund: ich glaube nicht, daß für den größten Teil der Maschinen ein Unterschied besteht zwischen der Kraft der Pferde und der Kraft der Menschen (für die Fahrzeuge liegt die Sache anders). Auf diesen Gedanken hat mich die folgende Überlegung gebracht. Die Pferde übertragen ihre Kraft auf die Maschinen in Form einer Drehbewegung, wodurch sie nach kurzer Zeit zugrunde gehen; ferner nötigt das zur Anwendung von Zahnrädern und von

Göpeln, die häufigen Anlaß zu Reparaturen geben und außerdem einen Teil der Kraft verzehren. Weiter muß man mehrere Pferde haben, die sich ablösen, weil ein einziges nicht längere Zeit hintereinander arbeiten könnte, endlich muß man stets die Kosten für einen Wärter tragen, der die Pferde zum Arbeiten antreibt. Alles dies zusammen wiegt fast die Vorteile auf, die man aus dem großen Kraftaufwand erzielt, den das Pferd vor dem Menschen voraus hat. Ich will mich über diesen Punkt nicht weiter verbreiten, und ich glaube, es ist besser, wenn ich an Sie die Bitte richte, da Sie ja mehrere Stellen kennen, wo man Wasser durch Pferdekraft hebt, gütigst eine exakte Berechnung darüber aufzustellen, welche Leistung ein Pferd abgeben kann, wie hoch die Kosten für das Futter sind, wie lange Pferde von einem bestimmten Preise die Arbeit aushalten und endlich, wie hoch die Ausgaben für das Räderwerk sind, und welchen Lohn die Leute, welche die Arbeit der Pferde überwachen, erhalten. Ich hoffe Ihnen dann neue einwandfreie Vorschläge machen zu können. Mir ist bekannt, daß es in der Geschichte der königlichen Akademie eine Aufstellung gibt, die der ungefähr entspricht, welche ich in der Sache der Feuermaschine fordere. Aber ich habe dies Buch nur kurze Zeit in der Hand gehabt und der Besitzer hat es wieder von hier mitgenommen, daher sehe ich mich gezwungen, meine Zuflucht zu Ihnen zu nehmen und Sie zu bitten, mich über diese Dinge aufzuklären.“ Leider erfahren wir von den Endergebnissen dieser von Leibniz angestellten Versuche über die Leistungsfähigkeit und die Unkosten des Pferdebetriebes nichts Näheres. In seinem folgenden Briefe setzt Papin ausführlich die Rentabilität seiner Maschine auseinander. Er schreibt am 23. März 1706: „... Unterdessen hatte ich Muße, eine kleine Abhandlung über diese Maschine zu schreiben und mit Sorgfalt zu untersuchen, was man von ihr erwarten kann, mit dem Erfolg, daß ich zur Zeit viel verwegener bin, und ohne die Antwort abzuwarten, die man Ihnen über die im Harz verwendeten Pferdestärken geben wird, will ich es wagen Ihnen auf meine Kosten eine neue Maschine anzubieten, wie ich es Ihnen am 2. November unterbreitet habe. Ich bin bereit, dieselbe selbst nach Hannover zu bringen. Wir wollen zunächst feststellen, wieviel eine gewisse Wassermenge auf eine gewisse Höhe mit Pferdekraft zu pumpen kostet. Stellt es sich dann heraus, daß unsere Maschine nicht dieselbe Leistung um den vierten Teil billiger macht, bin ich damit einverstanden, daß man sie mir zur Verfügung stellt, ohne mich für meine Kosten, die ich gehabt habe, zu entschädigen. Dagegen für den Fall, daß sie imstande ist, dasselbe um den vierten Teil billiger zu leisten, glaube ich wohl, daß es der Mühe wert sein dürfte, sie zu kaufen. Denn abgesehen von der Kostenersparnis ist man von der Unzulänglichkeit des Pferdebetriebes befreit,

da die Pferde immer allerlei Zufällen ausgesetzt sind und täglich altern. Für einen derartigen Kauf verlange ich 300 Taler. Aber für den Fall, daß es sich herausstellt, daß besagte Maschine mehr leistet, als ich zu behaupten wage, verlange ich noch, daß man außer der kontraktlichen Leistung, welche ich garantiere, feststelle, welche Wassermenge sie in einem Jahre mehr gehoben hat, als man dem Kaufvertrag zugrunde gelegt hat: und daß man mir gibt, was es kosten würde, um dieses Wasser mit Pferdekraft zu heben. Ich höre, daß man die Größe der Leistung ebenso gut nach der Höhe wie nach der Menge des Wassers bemessen kann. Ich glaube, ich kann hier, was ich schon in einem vorhergehenden Briefe gesagt habe, wiederholen: Es scheint mir, daß Seine Hoheit der Kurfürst, wenn er diese Vorschläge annimmt, nur das Risiko hat, zu gewinnen aber nicht zu verlieren. Da er nur den Nutzen eines Jahres zu bezahlen hat, während er ihn immer genießt, und da er außerdem nur für eine solche Maschine zu bezahlen hat, die ihm auch als Modell dienen kann, um danach mehr als zwanzig andere zu machen, die er aufstellen kann, wo es nötig ist. Und so glaube ich, daß dieser große Fürst, ohne seiner Klugheit zu schaden, mir die Ehre erweisen könnte, die in Vorschlag gebrachte Maschine auch anzuwenden.“ So günstig diese Bedingungen auch waren, vermochten sie doch nicht den allzu vorsichtigen Leibniz zu veranlassen, die Anschaffung der Maschine seinem Kurfürsten zu empfehlen.

Während die dem Kurfürsten von Hannover offerierte Maschine dazu dienen sollte, Wasser zu heben, waren sowohl von Papin als auch von Leibniz noch andere Verwendungsmöglichkeiten ins Auge gefaßt worden. Nämlich die Anwendung als Schiffsmaschine*) und als Motor für Landfuhrwerke: „— falls der Raum für die mitzuführenden Heizungsmaterialien nicht zu groß ist“, schreibt Leibniz, „müßte meiner Vorstellung nach die Feuermaschine für die Galeeren vorzüglich geeignet sein. Wenn man sie dahin bringen würde, das gleiche zu leisten wie die Pferde, würde ihr auch die Fortbewegung der Wagen eine ausgezeichnete Verwendung sichern“. Papin erwidert ihm hierauf: „Es war immer meine, Absicht einen Versuch mit der Anwendung auf Wasserfahrzeuge zu machen. Ich bin überzeugt, daß man durch die Anwendung dieser Kraft Schiffe gewinnen könnte, die immer, trotz Sturm und widrigen Winden, ihren Kurs einhalten könnten. Auch glaube ich wohl, daß man mit der Zeit dazu kommen würde dieselbe Kraft für Landfahrzeuge anzuwenden, aber man kann nicht alles auf einmal machen.“

Was die Kraftübertragung anbetrifft, so wird dieselbe von beiden Gelehrten sehr eingehend behandelt. Papin ist für Zentralisierung der An-

---

*) Siehe S. 31.

triebskräfte, d. h. Anlage einer großen Zentrale, und von dort Übertragung der Kraft nach den Verwendungsstellen, während LEIBNIZ mehr dazu neigt, an jeder einzelnen Verwendungsstelle eine Feuermaschine aufzustellen. Am 17. September 1705 schreibt PAPIN an LEIBNIZ: „— zum Schlusse glaube ich, daß es vorteilhafter ist, Wasser mit einer einzigen Pumpe z. B. auf 500 Fuß Höhe zu treiben, als genötigt zu sein 10 Pumpen anzuwenden, von denen jede das Wasser 50 Fuß hoch treibt, denn man würde dann an Pumpen sparen und an Arbeitern, welche sie bedienen müßten. Was die Kraftübertragung auf weite Entfernung anbelangt, so möchte ich Ihnen sagen, daß ich in meinen Briefen an den Grafen v. GREIFFENSTEIN zwei verschiedene Methoden hierfür angegeben habe, die eine mit Luftverdünnung, die andere mit Luftverdichtung. Aber ich glaube nicht, daß es notwendig ist, zu derartigen Mitteln gegenwärtig seine Zuflucht zu nehmen, denn die Feuermaschine kann überall da, wo man will, große Kräfte erzeugen, und sie ist so billig, daß es eine überflüssige Ausgabe wäre es anders zu machen.“ Hierauf erwidert ihm LEIBNIZ: „Was die Kraftübertragung auf beträchtliche Entfernungen anbelangt, so bin ich der Ansicht, daß man überall Feuermaschinen aufstellen kann. Trotzdem können Fälle eintreten, wo die Kraftübertragung von Nutzen ist, da ein und dieselbe Feuermaschine mehrere Verrichtungen zu gleicher Zeit bei räumlicher Entfernung vornehmen kann und bei denen es nicht der Mühe wert oder nicht bequem möglich ist, eine eigene Feuermaschine aufzustellen. Dies ist der Fall bei unseren Bergwerken, wo eine Kraftquelle 20 Pumpen nacheinander treiben muß, die im Bergwerk verstreut sind.“

Dank der Anregung aus diesem Briefwechsel nahmen die Arbeiten an der Dampfmaschine guten Fortgang, und im Hochsommer 1706 war die Maschine vollendet.

„Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam, Authore Dionysio Papin. Med. Doctore, Mathes. Profess. Publ. Marburgensi Consiliario Hassiaco ac Regiae Societatis Londinensis socio, Lipsiae 1707“ lautet der Titel des neuen Werkes, welches PAPIN über seine Dampfmaschine veröffentlichte und dem wir die Fig. 3 entnommen haben. Fig. 4 zeigt den rekonstruierten Längsschnitt durch die Maschine. Als Dampfkessel diente der kupferne Kessel AA, welcher eine elliptische Form hatte und vom Erfinder „Retorte“ genannt wurde. Der kleine Durchmesser des Ellipsoids betrug etwas mehr wie 20 Zoll, während der große Durchmesser etwa 26 Zoll betrug. Der Kessel war jedenfalls eingemauert und unter ihm eine Feuerung angebracht. Wasser wurde dem Kessel durch das Sicherheitsventil CC zugeführt. Aus dem Dampfraum des Kessels führte eine Rohrleitung BB, welche mit einem Absperrhahn versehen war, nach dem

Zylinder der Maschine. Dieser Dampfzylinder hatte einen Durchmesser von 20 Zoll bei 15 Zoll Höhe. Im Zylinder selbst befand sich ein hohler aus Blech zusammengesetzter Kolben (*FF*) von hutförmiger Gestalt; in die zylindrische Vertiefung des Kolbens (*JJ*) konnte man das aus Papins Briefen an Leibniz bekannte glühende Eisenstück einsetzen. Unter dem Kolben befand sich Wasser, welches durch den Trichter (*GG*) in den knieförmigen Zylinderansatz (*HH*) eingeführt wurde, und welches den Kolben in die Höhe hob. Auf der andern Seite des Zylinderansatzes begann das Steigrohr (*MM*), welches in ein hochstehendes Wasserreservoir (*NN*) mündete. Die Inbetriebsetzung und Wirkungsweise der Maschine war folgende: Nachdem das Feuer unter dem Dampfkessel angezündet war, ließ der mit der Wartung der Pumpe beauftragte Arbeiter durch den Trichter (*GG*) Wasser in den Zylinder einströmen. Dieses Wasser hob den Kolben (*FF*) in die Höhe bis er seinen höchsten Stand erreicht hatte. Hierauf wurde durch die Öffnung (*L*) das in der Feuerung bis auf Rotglut erhitzte Eisenstück in den Kolben eingeführt. Nun konnte man den Hahn (*E*) öffnen und der mittlerweile in (*AA*) erzeugte Dampf strömte in Zylinder über, expandierte und drückte den Kolben nach unten. Das unter dem Kolben befindliche Wasser wurde nun durch das Steigrohr (*MM*) in das Reservoir (*NN*) gedrückt, in welchem die darin befindliche Luft allmählich komprimiert wurde. Am Fuße des Wasserreservoirs war noch ein Hahn (*X*) angebracht, aus welchem das Wasser ausströmen und ein Mühlrad in Bewegung setzen konnte. War ein Hub der Maschine vollendet, so wurde durch den Arbeiter der Hahn (*E*) geschlossen und der kleine am



ARS NOVA
AD
AQUAM
IGNIS AD
MINICULO
DIONYSIO PAPIN

Fig. 2.
Titelblatt der „ars nova“, in welcher Papin seine Dampfmaschine veröffentlicht.

Dampfzylinder befindliche Hahn (u) geöffnet, so daß der verbrauchte Dampf ausströmen konnte. Das in (GG) enthaltene Wasser öffnet nun selbsttätig das Rückschlagsventil (S) und fließt durch (H) nach (D), hebt den Kolben wieder empor und ein neuer Arbeitsprozeß konnte vor sich gehen. Außerdem waren noch die Hähne (R) und (Y) angebracht, welche den Zweck hatten, aus (R) den Dampf und aus (Y) das Wasser ablassen zu können.

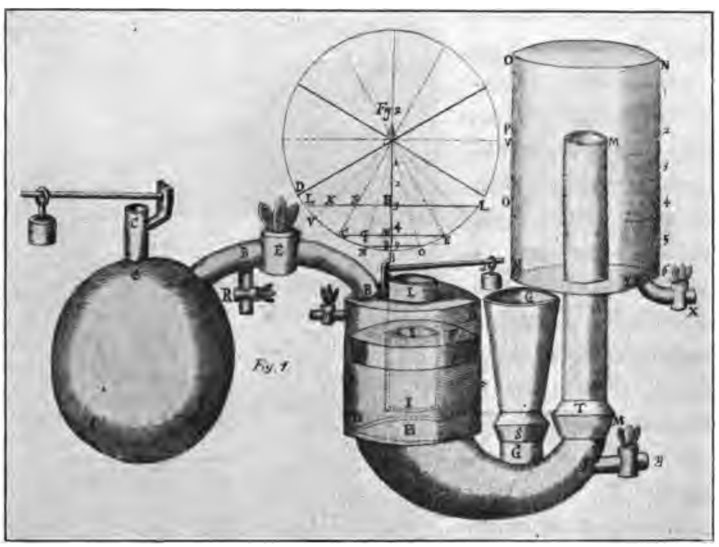


Fig. 3.
Die in der „ars nova“ enthaltene Zeichnung der Dampfmaschine vom Jahre 1706.

Um die Größenverhältnisse dieser ersten Dampfmaschine besser beurteilen zu können, sind in der folgenden Tabelle die Maße unter Zugrundelegung des im früheren Kurfürstentum Hessen geltenden Maßsystems:

1 Normalfuß zu 12 Zoll = 287 mm

nochmals zusammengestellt.

Kessel, kleine Achse	ca.	480	mm,
„ große „	„	620	„
Zylinderdurchmesser	„	480	„
Zylinderlänge	„	360	„
Kolbenhub	„	300	„
Anzahl der Hube pro Minute	„	5—6	„
Steigrohr-Durchmesser	„	120	„
„ -Länge	„	20300	„
Wasserreservoir-Durchmesser	„	550	„
„ -Höhe	„	990	„

Betrachten wir uns die Wirkungsweise der Maschine etwas näher, so könnte man auf den ersten Blick glauben, die Maschine hätte unmöglich mit Erfolg arbeiten können, da der Druck der komprimierten Luft im Wasserreservoir schnell zunehmen wird. Sehen wir jedoch genauer zu, so werden wir gerade hierin das Genie Papins bewundern müssen. Denn seine Maschine war derartig konstruiert, daß der Dampf in dem Augenblicke, in welchem man es von ihm verlangte, auch seine größte Kraft entfalten konnte, in dem er gezwungen wurde, zu expandieren. Die in *NN* komprimierte Luft

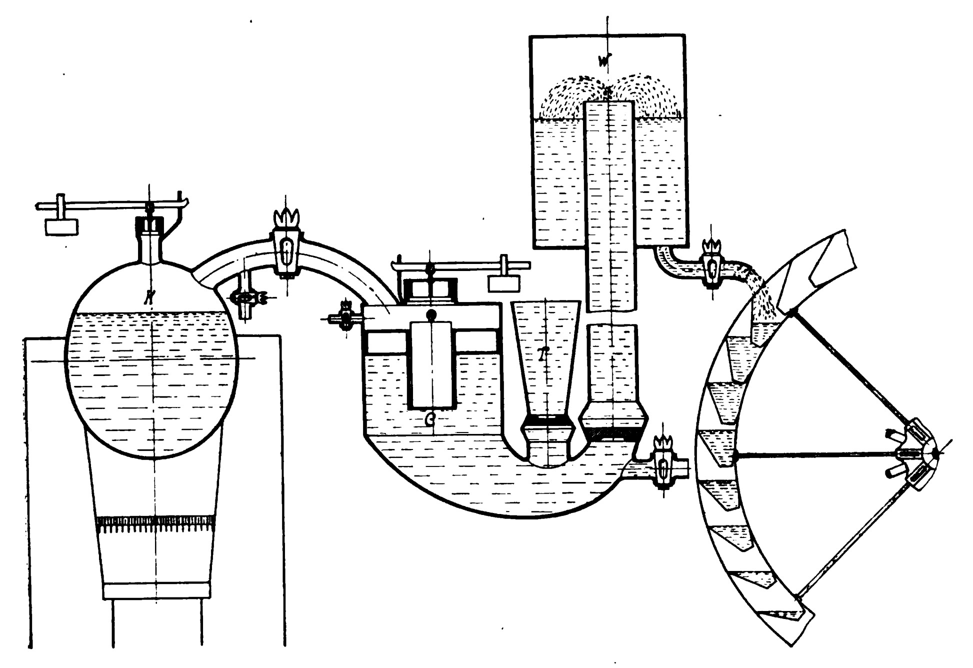


Fig. 4.
Rekonstruktion der Papinschen Dampfmaschine von 1706.

reduzierte auch die Stöße der Maschine auf ein Minimum. Gleichzeitig diente die Luft dazu, am Schluß des Hubes das Rückschlagsventil schneller zu schließen.

Im Juli wurde die neue Dampfmaschine dem Landgrafen Karl im Treppenhause des 1695 erbauten Kunsthauses im Betriebe vorgeführt. Am 19. August berichtete Papin über den Ausgang dieser Versuche an Leibniz: „Man benutzte starke gußeiserne Röhren, weil man glaubte, daß ihre Verwendung das Beste und Bequemste wäre. Was mich anbetrifft, so erklärte ich von vornherein, daß diese Röhren unmöglich Widerstand leisten könnten, weil man die Verbindungsstellen mit Kitt hergestellt hatte; aber andere

widersprachen: und als man zum Versuch kam, sah man, daß in der Tat das Wasser aus allen Verbindungsstellen heraustrat, und das geschah an der untersten Stelle in derartigem Maße, daß Seine Durchlaucht bald erklärte, dieser Versuch könne nicht gelingen, aber ich bat ihn sehr untertänig, ein wenig zu warten, weil ich glaubte, daß die Maschine trotz der großen Verluste an den zahlreichen Verbindungsstellen genug Wasser liefern würde. Und in der Tat, als wir die Operationen fortsetzten, sahen wir vier- oder fünfmal das Wasser oben aus dem Steigrohr treten. Man wollte hierauf die Röhren neu verkitten, aber da der Kitt warm war, drang eine große Menge in das Steigrohr und fiel auf das Rückschlagsventil, so daß sich dieses bei dem zweiten Versuch, den man anstellen wollte, nicht mehr genau schloß. Infolgedessen gab Seine Hoheit den Befehl, man solle Steigrohre aus kupfernen Platten anfertigen. Wenn diese Röhren aneinander geschweißt sind, werden sie nicht mehr den Grund für dieselben Unzuträglichkeiten bilden wie die gußeisernen, und ich glaube, daß ich mit Hilfe dieses Mittels ihren Anforderungen werde genügen können. Jedoch ist die Abwesenheit Seiner Durchlaucht der Grund für die Verzögerung, denn die Arbeiter schaffen gegenwärtig nicht daran, trotzdem sie nichts anderes zu tun haben. Auch ist es ganz ungewiß, wann Seine Hoheit zurückkehren werde. Die meisten glauben nicht vor St. Michaelis. Beim genauen Messen der Höhe des Hauses, auf welches wir das Wasser emporgetrieben haben, fanden wir, daß dieselbe 70 Fuß betrug, und kam ich zur Einsicht, daß die Höhe, bei welcher wir die Versuche vor acht Jahren machten und die man auch auf 70 Fuß schätzte, kaum die Hälfte gewesen sein wird. Was meine Abhandlung über diese Maschine anbelangt, so glaube ich, daß man dieselbe in Allendorf druckt."

Am 29. November 1706 konnte Papin ein Exemplar seiner Druckschrift, die „Ars nova etc." an Leibniz senden und ihm die Einzelheiten seiner Erfindung auseinandersetzen. In dem nun folgenden Briefwechsel zwischen Leibniz und Papin werden Fragen und Erörterungen aufgeworfen, die uns sehr modern anmuten. So die überaus wichtige Frage der Erneuerung des Wassers im Kessel, während die Maschine in Betrieb war. Leibniz schlägt zu diesem Zweck einen mit einer Nische versehenen Hahn vor. Papin dagegen macht, um den Dampfverlust zu vermeiden, einen besseren Vorschlag. Er wendet ein Zuleitungsrohr mit zwei Hähnen an. War der Raum zwischen beiden mit Wasser gefüllt und öffnete man den unteren Hahn, so fiel das Wasser in den Kessel, während an seine Stelle Kesseldampf trat. Dieser Dampf ging jedoch nicht verloren, sondern er diente gleichzeitig zum Vorwärmen des folgenden Wasserquantums. Was die Frage der Verwendung des Auspuffdampfes, an welchem der die

Maschine bedienende Arbeiter sich leicht die Hand verbrennen konnte, anbelangt, beabsichtigte Papin diesen Dampf zur Erwärmung der Retorte zu verwenden, während Leibniz den Vorschlag machte, denselben in den oberen Teil des Windkessels strömen zu lassen, um die Expansion der Luft zu erhöhen.

Doch wie zahlreich die Verbesserungsvorschläge auch gewesen sein mögen, zur praktischen Ausführung sind sie nie gekommen, denn Papin durfte seine Versuche nur in Gegenwart des Landgrafen vornehmen, und da der Fürst durch andere Geschäfte derartig in Anspruch genommen war, daß er die Verbesserungen an der Dampfmaschine nur abends besichtigen konnte, fand Papin keine Zeit Verbesserungen anzubringen. Als Papin so ein halbes Jahr hingehalten wurde, ohne Neues leisten zu können und im Februar 1707 die Arbeiter, welche mit der Herstellung des neuen Steigrohres beschäftigt waren, dasselbe noch obendrein grundlos wegnahmen, da riß auch Papin die Geduld. Er reichte dem Landgrafen sein Entlassungsgesuch ein. Leibniz gegenüber rechtfertigte er seinen Entschluß in einem Briefe vom 27. April 1707: „... Aber weit entfernt Vorbereitungen getroffen zu haben für die Versuche, welche nötig wären, um alles zu bestimmen, was man von unserer Maschine sowohl in bezug auf ihre Leistungsfähigkeit als auch in bezug auf die Unbequemlichkeiten, welche ihr noch anhaften, erwarten kann, muß ich sehen, daß man sie uns auseinandergenommen hat, um einen Versuch mit dem weiten Rohr, welches bis oben in das Gebäude reicht, anzustellen. Indem ich ferner sehe, mit welcher Gleichgültigkeit man diese Erfindung betrachtet, und wie wenig Wert man darauf legt, muß ich glauben, daß meine Feinde hier noch die Oberhand haben, ebenso wie bei Gelegenheit der Maschine mit der Granaten geworfen werden sollten. Wenn es Zeit ist, in allem Ernste an der Maschine zu arbeiten, dann verläßt man sie ganz. Alles was ich sagen kann, ist, daß man die Welt nehmen muß, wie sie ist.“ Einige Wochen später schreibt er an denselben: „Sie wissen, daß ich mich bereits seit langer Zeit beklage, daß ich hier viele und mächtige Feinde habe, doch faßte ich mich in Geduld, aber seit kurzem habe ich ihren Groll in solcher Weise erfahren, daß ich allzu verwegen wäre, wenn ich unter so viel Gefahren noch länger zu bleiben wagen wollte. Ich bin gleichwohl überzeugt, daß ich recht behalten hätte, wenn ich einen Prozeß hätte beginnen wollen; aber ich habe bereits zu viel Zeit Seiner Durchlaucht für meine unbedeutenden Angelegenheiten in Anspruch genommen, und es wird besser sein, zu weichen und den Platz zu räumen, als allzuoft genötigt zu sein, einem so großen Fürsten zur Last zu fallen. Ich habe ihm deshalb mein Gesuch eingereicht, mich mit seiner Erlaubnis nach England zurückziehen

zu dürfen, und Seine Durchlaucht hat in solcher Art zugestimmt, daß ich glauben darf, dieselbe hat noch, wie sie es immer hatte, mehr Wohlwollen für mich als ich verdiene."

So waren die Würfel gefallen; PAPIN, welcher eingesehen hatte, daß er in Kassel nur seine wertvolle Zeit vergeude, hatte den Entschluß gefaßt, Deutschland zu verlassen. Sein Entlassungsgesuch war inzwischen genehmigt worden. In England hoffte er größeres Verständnis für die Bedeutung und Tragweite seiner Maschine vorzufinden.

Nachdem Papins Hoffnungen in Kassel so schnöde zunichte geworden waren, raffte er seine wenigen Habseligkeiten zusammen, um so schnell wie möglich nach England zu gelangen. Er beabsichtigte die Reise auf dem Wasserwege zu machen, hauptsächlich deswegen, um ein kleines Schiff mit Ruderrädern, welches er sich in Kassel erbaut hatte, mitnehmen zu können. Dieses Schiff bildete den Anlaß zu dem Märchen von der Dampfschiffahrt Papins, wie wir es in mehreren Geschichtswerken vorfinden. Eine Abhandlung in den acta eruditorum vom August 1690 über die Möglichkeit und den Nutzen der Dampfschiffahrt mag wohl dazu beigetragen haben, den Anschein zu erwecken, als wäre Papin im Besitz eines Dampfschiffes gewesen. Papin sagt an der angeführten Stelle: „Quomodo jam vis illa ad extrahendam ex fodinis aquam aut mineram, ferreos globos ad maximam distantiam projiciendos, naves adverso vento provehendas, atque ad alios ejusmodi usus quam plurimos applicari queat, longum nimis foret hic recensere: verum unusquisque, pro data occasione, machinarum fabricam excogitare debet proposito suo accommodatam. Hic tamen obiter annotabo, quot nominibus ad naves in mari movendas ejusmodi vis vulgaribus remigibus anteponenda foret:

1. enim vulgares remiges pondere suo triremem praegravant, ineptioremque ad motum reddunt;

2. multum loci requirunt, atque ita magno sunt in navi impedimento;

3. non semper datur tot ejusmodi homines reperire, quot necessitas postulat;

4. denique remigibus, sive in alto desudent, sive in portu quiescant, necessarium semper alimentum est suppeditandum, quo sumptus non parum augentur.

Nostri vero tubi exiguo admodum pondere navem retardarent, ut supra dictum: exiguum quoque locum occuparent: possent etiam in sufficienti quantitare facile comparari, si semel opificium in hunc finem extructum et instructum foret: ac denique pro dictis tubis nullum nisi operationis tempore lignum consumeretur, in portu autem nullos sumptos requirerent. Quoniam autem remi vulgares minus commode ab ejusmodi tubis moveri possent ad-

hibendi foret remi rotatiles, quales meminime vidisse in machina Serenissimi Principis Ruperti Palatini jussu, Londini constructa, quae ab equis remorum eiusmodi ope in motum agebatur quaeque cymbam regiam sedecim remigibus instructam longo post se intervallo relinquebat: sic procul dubito, remi axi alicui infixi commodissime circumagi possent a tubis nostris, si nimirum manubria pistillorum dentibus instruerenteur, qui rotulas itidem dentatas axi remorum affixas necessario circumverterent: necesse foret duntaxat, ut tres vel quattuor tubi eidem axi applicarentur, quo posset ipsius motus sine interruptione continuari: dum enim pistillum aliquod ad fundum tubi sui pertingertet, adeo ut non posset amplius axem circumagere, antequam ad tubi summitatem vi vaporum iterum propelleretur: posset statim amoveri retinaculum pistilli alius, cuius descendendo vis eiusdem axis motum continuaret: et sic deinceps aliud adhuc pistillum deprimeretur, vimque suam in eundem axem exereret, interea dum pistilla prius depressa vi caloris ad summitatem iterum elevarentur, sicque novam movendi dicti axis vim acquirerent, modo superius descripto. unica autem fornax mediocri igne instructa ad omnia illa pistilla successive elevanda sufficeret. Verum objiciet forsan aliquis, dente manubriorum impactos dentibus rotarum ascendendo et descendendo debere motus oppositos axi nostro impertiri, atque ita pistilla ascendentia descendentium, aut descendentia ascendentium motum impeditura esse. Levissima vero est haec objectio: notissimum enim est apud autumatopoeos artificium, quo rotulae dentatae axi ita affiguntur, ut versus unam partem circumactae axem necessarios secum ducant; at versus alteram partem circumeuntes nullum eidem axi motum impertiantur, sed illum motu opposito liberrime circumverti permittant. Praecipua igitur difficultas constitit in obtinendo opificio illo ad praegrandes tubos ‚facili negotio configendos‘.“*)

---

*) „Da nun jene Kraft (die Dampfkraft) zur Förderung von Wasser und Erzen, zum Schleudern eiserner Kugeln, zum Fortbewegen von Schiffen gegen den Wind, und zu einer Menge anderer derartiger Sachen verwendbar ist, so ist folgende Ansicht berechtigt: Jeder einzelne kann in der Tat je nach Gelegenheit eine seinen Bedürfnissen entsprechende Maschine konstruieren. An dieser Stelle will ich mich darüber verbreiten, wie groß die Vorzüge bei der Schiffahrt im Vergleich zur gewöhnlichen Ruderkraft sind:

1. gewöhnliche Ruderer belasten durch ihr Gewicht das Schiff und machen es schwerfälliger;

2. sie beanspruchen viel Platz und sind überall auf dem Schiffe im Wege;

3. nicht immer ist es möglich die Bemannung vollzählig zu bekommen;

4. schließlich müssen die Ruderer, sei es, daß sie auf hoher See ausruhen, sei es, daß das Schiff im Hafen liegt, ernährt werden, wodurch die Kosten nicht wenig steigen.

Durch das geringe Gewicht unserer Zylinder würde das Schiff erleichtert,

Zur dieser Frage der Dampfschiffahrt Papins haben viele, Berufene und Unberufene, Stellung genommen.

„Seit der berühmten Fahrt Papins auf dem Fuldastrom von Kassel nach Münden am 24. September 1707 erhielt sich in den historischen Erinnerungen der Stadt Kassel ein gewisser Glorienschein, daß in unserer Stadt das erste Dampfschiff erbaut worden sei, daß die Fulda das erste Dampfschiff getragen habe.“ Also beginnt Dr. B. Stilling in der Zeitschrift des Vereins für hessische Landeskunde (1880) seine Abhandlung, in

---

wie oben bewiesen: auch erfordern sie nur wenig Raum. Man könnte sie nämlich in genügender Anzahl leicht herstellen, wenn man nur einmal eine Fabrik zu diesem Zwecke erbaut und eingerichtet hätte, und außerdem würde durch besagte Zylinder im Betriebe nur Holz verzehrt. Im Hafen würden sie keinerlei Aufwand erfordern.

Da nun die gewöhnlichen Ruder schlecht durch derartige Zylinder in Bewegung gesetzt werden können, müßte man Ruderräder anwenden, wie ich sie gesehen habe bei einer Maschine, welche auf Befehl Seiner Durchlaucht des Fürsten Ruprecht von der Pfalz in London erbaut wurde, und bei welcher durch Pferde derartige Ruder in Bewegung gesetzt wurden, und welche eine königliche Galeere, die mit 16 Ruderern bemannt war, weit hinter sich ließ. Es unterliegt keinem Zweifel, daß man die Ruder sehr bequem auf einer Achse befestigen und diese mit unseren Zylindern in Umdrehung versetzen kann, wenn man nur an dem Kolben eine Zahnstange anbringt, welche in ein auf gleiche Weise gezähntes Rad, das auf der Ruderräderachse befestigt ist, eingreift, und dieses zwangläufig in Bewegung setzt. Es wäre nur notwendig drei oder vier Zylinder auf eine Achse wirken zu lassen, wodurch eine Rotation ohne Unterbrechung erzeugt würde.

Während nämlich ein Kolben am Boden des Zylinders angelangt ist, so daß er die Welle nicht mehr drehen kann, bevor er durch die Dampfkraft nicht wieder emporgehoben ist, müßte ein anderer Kolben Arbeit verrichten, und zwar derartig, daß durch ihn die Bewegung der Welle ohne Unterbrechung fortgesetzt würde, und dann müßte wieder ein anderer Kolben seine Kraft auf dieselbe Welle abgeben. Inzwischen würde der erste Kolben wieder durch die Dampfkraft gehoben sein, so daß er neue Kraft zum Bewegen der besagten Welle besitzen würde, wie oben beschrieben. Ein einziger Ofen mit mäßigem Feuer würde genügen, um alle diese Kolben der Reihe nach zu heben. Es könnte jemand einwenden, daß die Zähne der Zahnstangen, welche in die Zahnräder eingreifen, durch die im Auf- und Niedergehen verschiedenartige Bewegung der Welle hinderlich wären, und so die aufsteigenden Kolben die Bewegung der niedergehenden und die niedergehenden die Bewegung der aufsteigenden hindern könnten. Die Erwiderung auf diesen Einwand ist sehr leicht. Es ist nämlich sehr bekannt, daß man bei den 'Automatopoeen' eine Vorrichtung anwendet, wodurch die Zahnräder derartig auf der Achse befestigt werden, daß sie in der einen Richtung die Welle zwangläufig mitführen, in der anderen Richtung aber auf dieselbe Achse keine Bewegung übertragen, sondern der Achse jegliche Bewegungsfreiheit in entgegengesetzter Richtung gestatten. Die Hauptschwierigkeit besteht in der Errichtung einer Fabrik, um große Zylinder mit leichter Mühe erzeugen zu können.“

welcher er den Beweis zu führen versucht, daß PAPIN tatsächlich bei seiner Fahrt auf der Fulda 1707 ein Dampfschiff benutzt habe. An gleicher Stelle befindet sich eine ebenso scharfe wie beweiskräftige Entgegnung aus der Feder E. GERLANDS, welcher den Nachweis führt, daß PAPIN niemals ein Dampfschiff gebaut, geschweige denn auf einem solchen im Jahre 1707 bis Münden gefahren sei.

Nach eingehendem Studium beider Arbeiten, insbesondere auch der von beiden benützten Quellen, kann es keinem Zweifel mehr unterliegen, daß GERLAND mit seiner Behauptung recht hat, und das Märchen von der Dampfschiffahrt PAPINS nur durch Sage und dunkle Überlieferung sich in Schriften, wie „PIDERITS Geschichte der Stadt Kassel" eingeschlichen haben kann. Ein Brief PAPINS vom 13. März 1704 an LEIBNIZ, welcher in der königlichen Bibliothek zu Hannover aufbewahrt ist, beseitigt jeden Zweifel. PAPIN schreibt: „J'ay pourtant entrepris de faire un batteau qui peut porter environ quatre mille livres, et Je pretens que deux hommes pourraient le faire monter facilement et vite contre le courant de la rivière, par le moyen d'une roue que J'y ay ajustée pour servir des rames. Je n'ay fait cette entreprise que sur un petit traité, que J'ay divisé en trois section. Dans la première j'examine la resistance que rencontrent les corps, qui se meuvent dans l'eau, et Je conclus que le doit être la meilleure construction des vaisseaux. Dans la seconde section J'examine la manière ordinaire de rames et les défauts, qui s'y trouvent: et dans la troisième Je donne les moiens pour remedier à ces défauts et Je trouve par mon calcul qu'on pourrait faire un vaisseau qui porteroit une plus grande charge qu'une Galere et qui avec 7 ou 8 rameurs, sans l'aide du feu court plus vite que les Galeres ordinaires ne vont avec 250. J'ay assez envie de faire quelques experiences pour confirmer ma théorie; mais Je considère que si je fais porter mon bateau à l'eau il sera negligé aussi bien que la machine aux grenades. Je ne porrais le garder sur la rivière: et se seroit un grand embarras de démonter pour le faire rapporter chez moi: ainsi J'aime mieux le garder ou il est jusques à ce que je sois mieux assisté ou que J'aye occasion de m'en servir moy même. Je n'ay point préparé celui ci pour y emploier la force du feu: parceque ce n'est pas à moi d'entreprendre trop des choses à la fois: J'ay même emploié plus d'un an à mettre ce batteau dans l'état qu'il est, et il ny a pour tant rien qui ne pût se faire en peu de semaines."

Ist damit auch der Beweis geliefert, daß PAPINS Boot kein Dampfschiff gewesen war, so ist dem Boot doch als einem der ersten Schiffe mit Ruderrädern immerhin einige Bedeutung zuzumessen. Auf einem solchen Boot fuhr nun PAPIN am 24. September 1707 von Kassel nach Münden, um von

dort auf der Weser nach Bremen weiter zu fahren. Die Schiffergilde der Stadt Münden besaß nun zu jener Zeit ein ausgedehntes Stapelrecht, und trotz Passierschein des Drostes von Münden und Reisepasses seines Landgrafen wurde Papins Boot ans Land gezogen und von den Schiffern „vorheert", wie es in den Akten des Magistrats von Münden über diesen Vorfall heißt.

Durch diesen Gewaltakt sah sich Papin in eine schlimme Lage versetzt, er mußte zusehen, wie sein Boot, von dem er sich so viel versprochen hatte, von den unverständigen Schiffern in Trümmer geschlagen wurde. Der Verlust war schwer, auch waren seine Reisedispositionen empfindlich gestört, und statt des bequemen Seeweges mußte er die beschwerliche Landroute über Holland nach England nehmen.

Die Vernichtung des Ruderschiffes bildete den Wendepunkt in Papins Leben, sie war gleichsam ein Symbol für die Folgezeit; denn an dem Tage, an welchem das Boot in einen Trümmerhaufen verwandelt war, war auch der Schiffbruch seines Lebens vollendet. Es häufte sich nun Unglück auf Unglück, Mißgeschick auf Mißgeschick.

In London angekommen versuchte Papin zunächst mit Hilfe eines Empfehlungsbriefes von Leibniz bei der Royal Society die ihm vor zehn Jahren angetragene Stelle eines Experimentators zu erlangen. Doch vergebens. Auch seine Bitte, die Vorteile seiner Dampfmaschine gegenüber der Saveryschen nachweisen zu dürfen, wurde abgeschlagen.

Vier Jahre mühte sich der greise Erfinder ab durch Experimente und Vorschläge, die er der Royal Society machte, kärglich sein Leben zu fristen, denn die Hoffnung, noch eine Dampfmaschine bauen zu können, hatte er längst aufgegeben. Im Jahre 1712 machte der Tod seinem an Mühsalen und Enttäuschungen reichen, an Erfolgen und Ehren aber armen Leben ein Ende.

So war zu Anfang des 18. Jahrhunderts in Kassel ein Werk entstanden, welches die Grundlage bilden sollte für eine Maschine, die berufen war, eine vollständige Umwälzung auf dem Gebiete des Verkehrs und der Industrie hervorzurufen.

Die Technik und der praktische Maschinenbau jener Zeit waren aber nicht imstande, die Ideen und Konstruktionen, welche das Genie eines Papin erfunden hatte, in Wirklichkeit umzusetzen. Und doch wäre dies erforderlich gewesen, um einen rationellen Betrieb mit der Dampfmaschine schon zu jener Zeit zu erzielen.

Papin hatte das Unglück, 100 Jahre zu früh gelebt zu haben, denn seine Zeitgenossen vermochten nicht, den Wert seiner Erfindungen auch nur

zu ahnen. Wie wenig man seiner Zeit selbst in Kassel von ihm gehalten hat, möge eine Stelle aus UFFENBACHS Reisebeschreibungen beweisen:

„. . . Wir langten daselbst (Kassel) am 11. November des 1709. Jahres an, nachdem wir am 8. dieses Monats aus unserer Vaterstadt (Frankfurt) abgereist waren . . . Nachdem kamen wir von dem Herrn PAPIN zu reden, von dem ich, wegen eines und andern, und sonderlich seiner Erfindungen erkundigte. Ich mußte aber mit Verwunderung vernehmen, daß er mit schlechtem Kredit von hier hinweggekommen. Er wurde beschrieben als ein Schwätzer und kühner Unternehmer, der hunderterley theils zum Schaden und Gefahr Ihro Durchlaucht und seiner selbsten, ohne Erfahrung aus purer Spekulation vorgenommen. Seine zwo letzte Unternehmungen, welche ihn auch von hier gebracht sind diese: Erstlich, daß er sich unterstanden, mit einem Schiff ohne Ruder, sondern nur mit Rädern, auch ohne Segel allein zu schiffen, welches ihm auf der Fulda, zu geschweigen auf dem großen Meere, darauf er in England schiffen wollte, bald sein Leben gekostet hätte. Das andere und das größte ist, daß er mit Wasser wie mit Pulver zu schießen unternommen, er leichtlich ein großes Unglück angerichtet hätte: denn, indem die dazu bereiteten Maschinen gesprungen, haben sie nicht allein das Laboratorium guten Theils über einen Haufen geworfen, verschiedene Menschen tötlich verwundet, und einem unter anderen den Kinnbacken hinweggeschmissen, sondern es hätte auch Ihro Durchlaucht selbsten treffen, und als einen sehr curieusen Herren, der alles gar genau in Augenschein nehmen will, das Leben kosten können, wann nicht von ungefähr Ihro Durchlaucht von Geschäften abgehalten etwas später gekommen wären, weswegen er dann auch seinen Abschied bekommen.“

III. Die Entwicklung der Dampfmaschine bis zur Neuzeit.

Die weitere Entwicklung der Dampfmaschine vollzieht sich ausschließlich in England, dem einzigen Lande, in dem ein wirtschaftliches Bedürfnis nach einer Kraftmaschine wirklich vorhanden war. Vor allem war es der Bergbau, der nach einer solchen verlangte und der mittels der damals gebräuchlichen „Roßkünste" das eindringende Grubenwasser nicht mehr zu bewältigen mochte. Diesem Bedürfnis suchte ein Engländer abzuhelfen, THOMAS SAVERY, der wie schon erwähnt, im Jahre 1698 ein Patent erhielt und der von vielen als der Erfinder der Dampfmaschine bezeichnet wird. Das Projekt seines Apparates, einer Hochdruckmaschine mit Kondensation, stimmt im wesentlichen mit dem ersten Plan PAPINS überein. Offenbar hat aber SAVERY PAPINS Maschine nicht gekannt, da er sonst einen wesentlichen Fehler seiner Konstruktion vermieden hätte: bei SAVERYS Maschine fehlt der Kolben vollständig, der heiße Dampf trifft unmittelbar auf das kalte Wasser. Die Folge davon war, das ein großer Teil des Dampfes kondensierte, ehe er überhaupt zur Kraftentfaltung gelangen konnte. Dagegen weist seine Maschine auch einen Vorzug auf: SAVERY wandte zum erstenmal die Oberflächenkondensation an. Die Priorität der Erfindung aber kann er PAPIN nicht streitig machen. Die Veröffentlichung seines Projektes fällt zeitlich später als die Ausführung PAPINS erster Maschine, die erste Ausführung seiner Maschine fällt in dasselbe Jahr wie die von PAPINS zweiter Maschine und endigt im Gegensatz zu dieser mit einem Mißerfolg. Infolge des oben erwähnten Übelstandes nämlich vermochte die Maschine den Druck der Wassersäule, die sie heben sollte, nicht zu bewältigen. Als SAVERY dies durch Anwendung höheren Drucks erzwingen wollte, explodierte der Kessel und zerschlug die Maschine. Wenn auch SAVERYS Maschine für einen wirtschaftlichen Betrieb infolge ihrer hohen Dampfverluste nicht zu gebrauchen war, so war sie doch die erste, die für kleinere Leistungen, zur Wasserlieferung für Wasch- und Badeeinrichtungen, für Springbrunnen und dergleichen zu dauernder Verwendung gelangte.

Weitere Verbesserungen führte der Grobschmied NEWCOMEN aus Darthmouth ein, der seit etwa 1710 zusammen mit dem Glaser CAWLEY Ver-

suche mit der damals sogenannten Feuermaschine machte. Die SAVERYsche Maschine hatte er aus eigener Anschauung kennen gelernt. Auf PAPINS atmosphärische Maschine wurden sie durch den Gelehrten HOOKE aufmerksam gemacht. Der Kolben, eine starke eiserne Platte, wurde erst durch ein besonderes Dichtungsmaterial, später durch Wasser abgedichtet. Diese Wasserdichtung führte NEWCOMEN durch einen glücklichen Zufall auf die Erfindung der Einspritzkondensation. Bei einem der Versuche war durch ein Loch im Kolben Wasser ins Zylinderinnere getreten. Die dadurch bewirkte schnellere Kondensation hatte eine Steigerung der Hubzahl zur Folge, die NEWCOMEN beobachtete und richtig deutete. Ein weiterer Fortschritt war die von POTTER zuerst erdachte und durch HENRY BEIGHTON 1718 verbesserte selbsttätige Steuerung. Eine ganze Reihe von Verbesserungen führte der Ingenieur JOHN SENCATIN ein, er versah den Kolben mit einer mit Öl getränkten Hanfdichtung. Vor allem gelang es ihm, rechnerische Grundlagen für die Konstruktion seiner Maschinen zu finden. Hierdurch vermied er es, seinen Maschinen falsche Dimensionen zu geben und erhöhte dadurch deren Leistungsfähigkeit. Die NEWCOMENsche Maschine stellt demnach die erste wirtschaftlich einigermaßen brauchbare Maschine dar.*) Sie fand in vielen Bergwerken Aufstellung und ermöglichte es, teilweise bis zur doppelten Tiefe hinabzugehen. Sie wurde bis zu Leistungen von 80 Pferdestärken gebaut. Trotzdem ist es falsch NEWCOMEN als den Erfinder der Dampfmaschine zu bezeichnen. Wir müssen uns hier den Worten GERLANDS anschließen: „NEWCOMEN, CAWLEY und POTTER waren intelligente Arbeiter, die sich bei sonst beschränktem Gesichtskreis in das Wesen der sie interessierenden Maschine hineingelebt hatten und jede Abweichung vom Gewohnten sorgfältig beobachtend, durch die Maschine selbst zu Verbesserungen geführt wurden, die sie auf anderen Wegen nie gefunden hätten.“ NEWCOMEN hätte, wenn er nicht PAPINS Entwurf gekannt hätte, aus sich selbst heraus die Dampfmaschine nie erfunden, das ergibt die Art, wie er zu seinen Verbesserungen gelangte, mit aller Deutlichkeit.

So hatten die Ingenieure des 18. Jahrhundert, unter Zugrundelegung PAPINscher Ideen, eine Maschine geschaffen, die zum Auspumpen von Bergwerken leidlich brauchbar, jedoch von unseren heutigen Konstruktionen noch weit entfernt war. Das Verdienst, sie auf diesem langen Wege am weitesten gefördert zu haben, gebührt dem Engländer JAMES WATT, der bisher wohl am häufigsten als der Erfinder der Dampfmaschine genannt wurde. Er hat sich 1764 zum erstenmal mit der Dampfmaschine beschäftigt und

*) MATSCHOSS Gesch. der Dampfmaschine.

fand die PAPINschen und NEWCOMENschen Ideen schon vor. Wenn wir ihn also auch nicht als den eigentlichen Erfinder bezeichnen können, so muß doch die geniale Art und Weise, in der er das Vorgefundene auszugestalten und lebensfähig zu machen wußte, die ungeteilteste Bewunderung erregen.*)

„Vergleichen wir diese durch WATT geschaffene Maschine mit der denkbar vollkommensten atmosphärischen Maschine jener Zeit," sagt MATSCHOSS, „so sehen wir einen Fortschritt, wie er in so kurzer Zeit selten, durch einen einzigen Menschen aber wohl nie erreicht worden ist. Da über WATTS Lebensarbeit noch mancherlei Unklarheit herrscht, so dürfte hier wohl der Platz sein, auch über ihn einige Worte zu sagen, zumal ein Vergleich zwischen ihm und PAPIN vielerlei Interessantes bietet und ihre Erfindungstätigkeit viel Ähnlichkeiten aufweist.

WATT wurde am 19. Januar 1736 zu Greenwich in Schottland als Sohn eines Schiffszimmermanns geboren. Er war von Beruf Feinmechaniker, hatte sich aber durch eifrige Studien eine Menge gründlicher naturwissenschaftlicher Kenntnisse angeeignet. ROBISON, der spätere Professor der Physik, der damals in Glasgow studierte, besuchte WATT und war erstaunt, statt eines Handwerkers einen Gelehrten zu finden, der über bedeutende Kenntnisse in Mathematik und Mechanik verfügte. ROBISON war es auch, der WATTS Aufmerksamkeit zum erstenmal auf die Dampfmaschine lenkte. Seine ersten Experimente machte der junge Mechaniker mit einem PAPINschen Topfe, bald gelang es ihm jedoch, das Modell einer NEWCOMEN-Dampfmaschine in Reparatur zu bekommen. Auf Grund einer Reihe von Verdampfungsversuchen kam er zu einer Kritik der NEWCOMEN-Maschine, vollkommen richtig erkannte er, daß die hohen Dampfverluste jener Maschine einmal herbeigeführt wurden durch die starke Kondensation des Eintrittsdampfes, der mit der durch das Kondenswasser abgekühlten Zylinderwand in Berührung kam, dann durch den starken Wärmeverlust an das Kondenswasser im Zylinder. Der von WATT ausgesprochene Grundsatz: „Der Zylinder muß so heiß gehalten werden wie der Eintrittsdampf", führte ihn mit logischer Notwendigkeit zu den meisten und wichtigsten seiner Erfindungen und Verbesserungen. Der erste Schritt war die Erfindung des vom Zylinder getrennten Kondensators, aus dem Luft und Wasser mittels einer Pumpe entfernt wurden. Weiter umgab er den Zylinder mit einem Dampfmantel, zum Abdichten des Kolbens und zum Schmieren benutzte er Öl. Der Plan der neuen Maschine war fertig, nun kam die Ausführung. Hier stieß WATT auf ähnliche Schwierigkeiten wie vor ihm PAPIN. Haupt-

*) Dr. E. GERLAND: Die Dampfmaschine im 18. Jahrhundert in Deutschland. Sammlung gemeinverständlicher wissenschaftlicher Vorträge von Virchow und Holtzendorff.

sächlich war es der Mangel an geschickten Arbeitern, der ihm viele Schwierigkeiten bereitete. Seine eigenen Mittel waren durch den Bau seiner Versuchsmaschinen bald erschöpft. Glücklicherweise fand er die Unterstützung des Großindustriellen Dr. ROEBUCK, die es ihm ermöglichte, 1769 seine erste Maschine zu vollenden und ein Patent darauf zu nehmen. Sie wies jedoch keinen Erfolg auf, da sich bei dem niedrigen Stande der Metalltechnik eine genügende Dichtung des Kondensators nicht erzielen ließ. Da mußte Dr. ROEBUCK, dessen Kohlengruben unter Wasser standen, den Konkurs anmelden. Nun übernahm MATTHIEU BOULTON das Patent, der nicht nur in finanzieller, sondern auch in geistiger Hinsicht zu den ersten englischen Großindustriellen jener Zeit zu zählen ist. In Soko bei Birmingham entstand die erste Dampfmaschinenfabrik in Firma BOULTON und WATT. 1774 siedelte der Erfinder nach Soko über. In rastloser Tätigkeit arbeiteten nun die beiden Männer, die durch enge Freundschaft verbunden waren, daran, die Dampfmaschine zu wirtschaftlicher Brauchbarkeit umzugestalten und ihre Einführung in die Industrie zu sichern. WATTS Patent wurde bis 1800 verlängert. Die erste Maschine wurde 1776 an den Eisengießer JOHN WILKENSEN in Bersham geliefert. Nun folgten in rascher Reihenfolge eine Menge von Verbesserungen, die alte NEWCOMENsche Maschine war bald völlig verdrängt. 1781 wurde der Kurbelmechanismus eingeführt, damit war die neue Maschine auch für die Industrie brauchbar geworden.

Die Einführung der doppeltwirkenden Maschine ermöglichte WATT durch die Erfindung seiner bekannten Gelenkgeradeführung. Der Forderung der Anpassung an die jeweilige Arbeitsleistung wußte er durch die Einführung des Zentrifugalregulators zu begegnen, der schon im Mühlenbetriebe bekannt war und den er auf eine Drosselklappe wirken ließ. 1786 wurde in London eine große Dampfmühlenanlage gebaut, die leider 1791 durch böswillige Hand in Brand gesteckt und vernichtet wurde. Doch der Widerstand derjenigen, die durch die Einführung der neuen Maschine ihr Brot zu verlieren fürchteten, vermochte deren Siegeslauf nicht aufzuhalten. Es machte sich jetzt eine gewaltige Nachfrage geltend, besonders von seiten der Mühlenbesitzer, der Brauereien und der Walzwerke. 1785 endlich begann die Fabrik Überschüsse abzuwerfen, nachdem BOULTON das für jene Zeit enorm hohe Kapital von 800000 M. für das Unternehmen aufgewandt hatte. Von diesem Jahre an widmete sich WATT nur noch der Leitung der Konstruktionsbureaus. Durch seine Lebensarbeit hat er seinem Vaterlande jenen gewaltigen wirtschaftlichen Vorsprung verschafft, den es auf vielen Gebieten bis in neuere Zeit zu wahren gewußt hat.

Es ist nun interessant, einen Vergleich zwischen dem Schicksal PAPINS und WATTS zu ziehen. Das Beispiel des letzteren zeigt uns mit beredter

Deutlichkeit, wie nicht nur das Genie und die rastlose Tätigkeit des Erfinders nötig war, um das Werk den langen Weg von der Idee bis zur praktischen Brauchbarkeit durchlaufen zu lassen; vielmehr mußte jenen Eigenschaften ein ausgesprochenes wirtschaftliches Bedürfnis, ein gewisses naturwissenschaftliches Verständnis und ein höheres technisches Können der Zeitgenossen, sowie ein mächtiges Kapital zur Seite stehen. Alles dies waren Erfordernisse, die PAPIN fehlten und die sich bei dem genialen Engländer in glücklichster Weise zusammenfanden.

Auch in den übrigen Ländern ist es vor allem der Bergbau, von dessen Seite sich gebieterisch der Ruf nach einer Kraftmaschine erhebt. In unserem Vaterlande ließ 1715 Karl von Hessen, der Gönner PAPINS, eine kleine Springbrunnenmaschine bauen, wahrscheinlich SAVERYscher Konstruktion. Die erste Feuermaschine stellte 1745 der Landbaumeister KESSLER in Bernburg auf. Sie war für das dortige Kohlenbergwerk bestimmt. Aus den Abhandlungen des Mathematikprofessers EBERHARD in Halle, die er 1773 erscheinen ließ, geht hervor, daß die Feuermaschine in diesem Jahre schon häufigere Anwendung in Deutschland gefunden hatte. Die Aufstellung der ersten Maschine WATTscher Konstruktion geschah 1785 zu Hettstädt in Mansfeldischen, auf Veranlassung Friedrichs des Großen. Die Maschine war vollständig im eigenen Lande hergestellt und infolge des Mangels an Erfahrungen gelang es erst nach einigen Schwierigkeiten, sie zu wirtschaftlicher Brauchbarkeit umzugestalten. 1788 wurde in Schlesien die erste englische Maschine aufgestellt. Als erster deutscher Dampfmaschinenfabrikant ist FRIEDRICH AUGUST HOLTZHAUSEN anzusehen, der in den Jahren 1794 bis 1825 mehr als 50 Dampfmaschinen baute. Die Aufstellung der ersten Maschine für industrielle Zwecke erfolgte 1799 in der Königlichen Porzellanmanufaktur zu Berlin. Auch in den übrigen Ländern entstanden gegen das Ende des 18. Jahrhunderts Dampfmaschinenfabriken, in Rußland 1786 durch den Schotten GASCOIGNE, in Frankreich durch den Mühlenbesitzer PERRIER. Die Dampfmaschine des sibirischen Schichtmeisters BOLJUNOW, die dieser unabhängig von PAPIN und WATT erfunden und in Hüttenwerke zum Betriebe von Gebläsen angewandt hatte, war nach seinem Tode der Vergessenheit wieder anheimgefallen. Dasjenige Land, das am spätesten die neue Erfindung annahm, war merkwürdigerweise Amerika. Dort existierten etwa am Ende des 18. Jahrhunderts 3—4 Dampfmaschinen. Für alle Länder war England der Ausgangspunkt des Dampfmaschinenbaues.

Dort schritt die Entwicklung rüstig weiter. Im Jahre 1800 verfiel WATTS Patent. Nun entstanden allerorts Dampfmaschinenfabriken, die indessen nur langsam den Vorsprung einholen konnten, den sich die Firma

Boulton und Watt durch ihre langjährigen Erfahrungen gesichert hatte. Die neuere Entwicklung wollen wir nur in den allergröbsten Umrissen skizzieren. Einmal dürfte sie ja bekannter sein, dann würde eine ausführliche Darlegung den Rahmen dieses Buches weit überschreiten, dessen Zweck ja in erster Linie eine Klarstellung der Verdienste Papins und seiner Stellung in der Geschichte ist. Den nächsten Schritt bildete die Einführung höheren Drucks, die schon Watt in seinem Patent vorgesehen, von deren Einführung er aber wegen der Schwierigkeiten einer genügenden Abdichtung selbst abgeraten hatte. Mit hohen Drucken hatten ja auch schon Papin und Savery gearbeitet. In Amerika baute Evans, in England Trevithick und Vivian die ersten Hochdruckmaschinen. Die Versuche des Engländers Perkins, der bei seinen Versuchsmaschinen Drucke von 30 Atmosphären angewandt haben soll, trugen nur dazu bei, das Publikum gegen die Neuerungen mißtrauisch machen. Das Verdienst, die Hochdruckmaschinen zu wirklicher technischer Vollkommenheit ausgebildet zu haben, gebührt einem Deutschen: Dr. Ernst Alban. Auch er versuchte es zunächst mit Dämpfen von der enormen Spannung von 70 Atmosphären, mußte aber bald die Unmöglichkeit der Verwendung einer solchen einsehen. Er ging auf 10 Atmosphären herab und es gelang ihm, einen technisch sehr brauchbaren Wasserrohrkessel und eine ebenso brauchbare Hochdruckmaschine zu konstruieren. Auch die Einführung der Expansion gewann mit der Einführung hohen Dampfdruckes praktische Bedeutung.

Die Anfänge der Mehrzylindermaschine fallen ebenfalls noch ins 18. Jahrhundert, schon 1790 führte Hornblower die erste Zweizylindermaschine aus. Bessere Erfolge erzielte Arthur Woolf, der 1804 die Hornblowersche Maschine doppelt wirkend, mit Kondensation und höherem Dampfdruck arbeiten ließ. Es dauerte jedoch noch lange, bis es den Maschinen gelang sich allgemeine Verbreitung zu erringen. Das Verdienst, die erste Verbundmaschine im Schiffbau eingeführt zu haben, gebührt dem Holländer Roentgen. Zur Ausführung von 3- und 4 fach Expansionsmaschinen schritt man erst in den 70 er Jahren.

Eine weitere Vervollkommnung erfuhr die Dampfmaschine durch die Ausbildung der verschiedenartigsten Steuerungen. Die ersten Schiebersteuerungen wandte Murray im Jahre 1802 an. 1836 wurde die Farcotsche Schleppschiebersteuerung, 1842 die Meyersche Doppelschiebersteuerung erfunden. Besonders die letztere hat eine große Verbreitung erlangt, eine Einwirkung des Regulators auf das Steuerungsorgan ist jedoch auch hier nur in unvollkommener und unvollständiger Weise zu erreichen. Eine nach modernen Begriffen vollkommene Steuerung erreichte erst Corliss 1843 durch die Erfindung seiner Ausklinksteuerung, die auch den Namen der

Präzisionssteuerung erworben hat. Seine Erfindung bezeichnet den Beginn eines neuen Abschnittes im Zeitalter des Dampfmaschinenbaues, denn jetzt erst war eine wirklich wirtschaftlich arbeitende Maschine geschaffen, die ihre Kraftlieferung der jeweilig geforderten Leistung anzupassen vermochte.

Als weitere bedeutungsvolle Neuerungen sind die Kulissensteuerungen der Engländer Gooch, Allan und Trick, sowie vor allem die Doppelschiebersteuerung des Amerikaners Rider zu bezeichnen. Die alte Ventilsteuerung, die schon Watt angewandt hatte, vermochte durch die Erfindungen von Sulzer und Collmann, die Ventilpräzisionssteuerungen, in erfolgreiche Konkurrenz mit dem Corlisschen Rundschieber zu treten. Die neueste Zeit erhält durch zwei Erscheinungen ihr Gepräge: den Bau von schnellaufenden Maschinen, insbesondere Dampfturbinen, der vor allem durch die Forderungen der Elektrotechniker zur Notwendigkeit wurde, und die Anwendung des überhitzten Dampfes. Den ersten Schnelläufer führten T. Porter und John Allan 1862 auf der Ausstellung in London vor, den ersten Anstoß zur Anwendung des überhitzten Dampfes gab Gustav Adolf Hirn durch seine Versuche, seit deren Veröffentlichung nunmehr gerade 50 Jahre verflossen sind. Durch die Arbeiten des Engländers Parson und des Schweden Laval in den 80er Jahren wurden die Grundbedingungen gelegt zur Verwendung des Dampfes in Turbinen, und unsere moderne Dampftechnik ist im Begriffe, sich immer mehr dieser Maschinengattung zuzuwenden.

IV. Einzug der Dampfmaschine in das Wirtschaftsleben.

Haben wir bis jetzt die technische Vervollkommnung der Dampfmaschine historisch darzustellen versucht, so drängt sich uns nun die Frage auf, welche Vorbedingungen die Einführung der Dampfmaschine in das Wirtschaftsleben ermöglichten und welche Neuerungen dieses Ereignis in demselben hervorgerufen hat.

Als man am Ende des 18. Jahrhunderts allgemein zur Handels- und Gewerbefreiheit überging, mußte sich ein jeder nach neuen Mitteln und Wegen umsehen, um den Kampf mit der immer schärfer werdenden Konkurrenz aufnehmen zu können. Überall machte sich deshalb ein wirtschaftliches Bedürfnis nach Vereinfachung und Verbilligung der Produktionskräfte geltend, und energischer denn je versuchte man, die teuere Lohnarbeit durch Anwendung anderer Kräfte zu umgehen. Ein in dieselbe Zeit fallender Aufschwung der Technik schuf die Möglichkeit, Handarbeit durch Maschinenarbeit zu ersetzen, und dem Zusammenwirken aller dieser Umstände ist es zuzuschreiben, daß gerade in dieser Zeit die Maschinen ihren Einzug in das Wirtschaftsleben hielten. Muß man auch zugeben, daß gerade die Erfindung der Dampfmaschine hier bahnbrechend wirkte, so darf man doch nie außer acht lassen, daß nur dem Zusammenwirken aller vorerwähnten Elemente es gelingen konnte, wirtschaftliche Revolutionen von solcher Tragweite hervorzurufen. Eine Darstellung des Einflusses speziell der Dampfmaschine auf die Volkswirtschaft begegnet daher großen Schwierigkeiten, weil eine Trennung der Wirkungen dieser Erscheinungen nahezu unmöglich ist, und doch nur hierdurch die besondere Wirkung der Erfindung der Dampfmaschine klargestellt werden kann.

Als Resultat menschlicher geistiger Arbeit, und zwar nicht der eines einzelnen, sondern der Arbeit vieler unserer „Größten", die alle von der einen Idee durchdrungen waren, tiefeingreifenden wirtschaftlichen Nöten abzuhelfen, erregt die Erfindung der Dampfmaschine schon an und für sich volkswirtschaftliches Interesse. Um so größerer Wert ist ihr aber beizumessen, als ihr ein wirtschaftlicher Erfolg zur Seite steht, wie er größer wohl noch nicht erreicht ist. Hat sie doch Wirkungen ausgeübt, die auf

allen Produktionszweigen fühlbar waren und zu Revolutionen in des Wortes eigenster Bedeutung führten, so daß die Staaten sich zu Verboten der Maschinenanwendung genötigt sahen. Aber wie bei allen Reaktionsversuchen gegen natürliche geschichtliche Entwicklung, so hat sich auch hier die Ohnmacht der rechtssetzenden Gewalt gegen den unaufhaltsamen Strom des Kulturfortschrittes gezeigt. Trotz Verboten und Einschränkungen ist das moderne Maschinenzeitalter kraftvoll erstanden und hat sich alle Wirtschaftsgebiete schnell erobert.

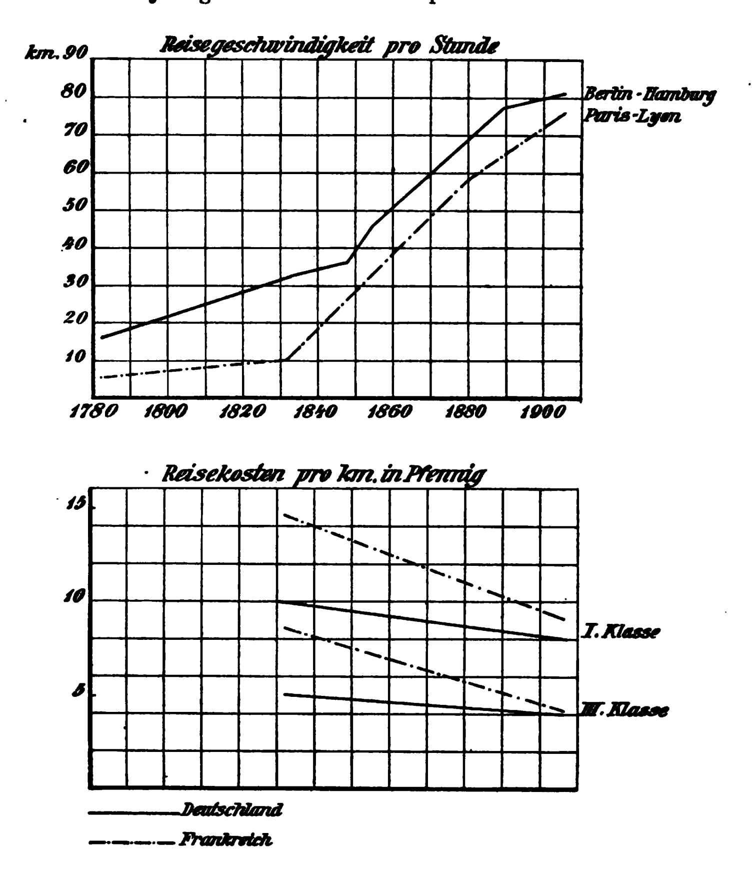
Vor allem das Handels- und Verkehrswesen ist durch das Maschinenzeitalter und zwar speziell „das Zeitalter des Dampfes" von Grund aus umgestaltet worden. Haben doch allein die Eisenbahnen derartigen Einfluß auf den Verkehr gehabt, daß sich ein Kind unserer Zeit von den Zuständen vor den Eisenbahnen kaum noch einen Begriff machen kann. Und doch sind noch nicht hundert Jahre seit Einführung der Dampfmaschine verflossen!

Den Vorzügen, welche die Eisenbahnen mit sich brachten, konnten die Posten bald nicht mehr standhalten und mußten dem neuen Verkehrmittel weichen. Die Haupterfordernisse des Verkehrs, wie Schnelligkeit, Regelmäßigkeit und Billigkeit, konnten von der Eisenbahn in weit größerem Maße erfüllt werden, und dies erklärt am besten ihren raschen Siegeslauf.

Die Dauer und die Kosten der Personenbeförderung haben sich erheblich vermindert und die Bewegungsfreiheit des einzelnen und besonders der unteren Klassen hat sich außerordentlich gesteigert. Die S. 46 folgenden Statistiken mögen diesen Unterschied zwischen einst und jetzt einigermaßen veranschaulichen.

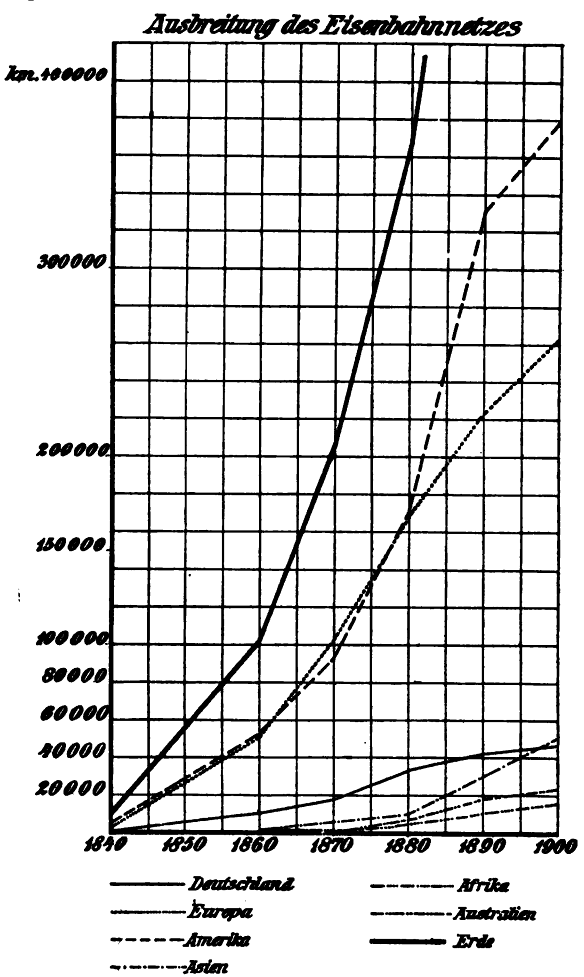
Doch nicht nur für den Personenverkehr, auch für die Güterbeförderung ist die Schnelligkeit von derselben Bedeutung, und auch bei ihr haben sich die Kosten erheblich verringert. (In Rheinland und Westfalen z. B. betrugen die Kosten für Kohlenbeförderung: mit Frachtfuhrwerk 40 Pf. für den Tonnenkilometer, bei Einführung der Eisenbahn sank dieser Satz schon auf 13—14 Pf., heute beträgt er nur noch 2,2—1,25 Pf.) Es sind damit engere Beziehungen der Menschen auch auf große Strecken und Austausch aller Kulturgüter selbst auf die weitesten Entfernungen möglich geworden.

Nicht allein schneller und billiger können jetzt Menschen und Güter befördert werden, auch die Regelmäßigkeit und Sicherheit des Verkehrs ist gewachsen. Hing früher die Beförderung von dem Wetter und dem Wasserstand ab und konnte kein Verkehrsunternehmer zu ihr gezwungen werden, so garantiert heute die technische Vervollkommnung, die Größe des Betriebes und die gemeinwirtschaftliche Natur desselben für Bewältigung auch des größten Verkehrs. Weiter ist durch gründlich ausgebildete zum Teil

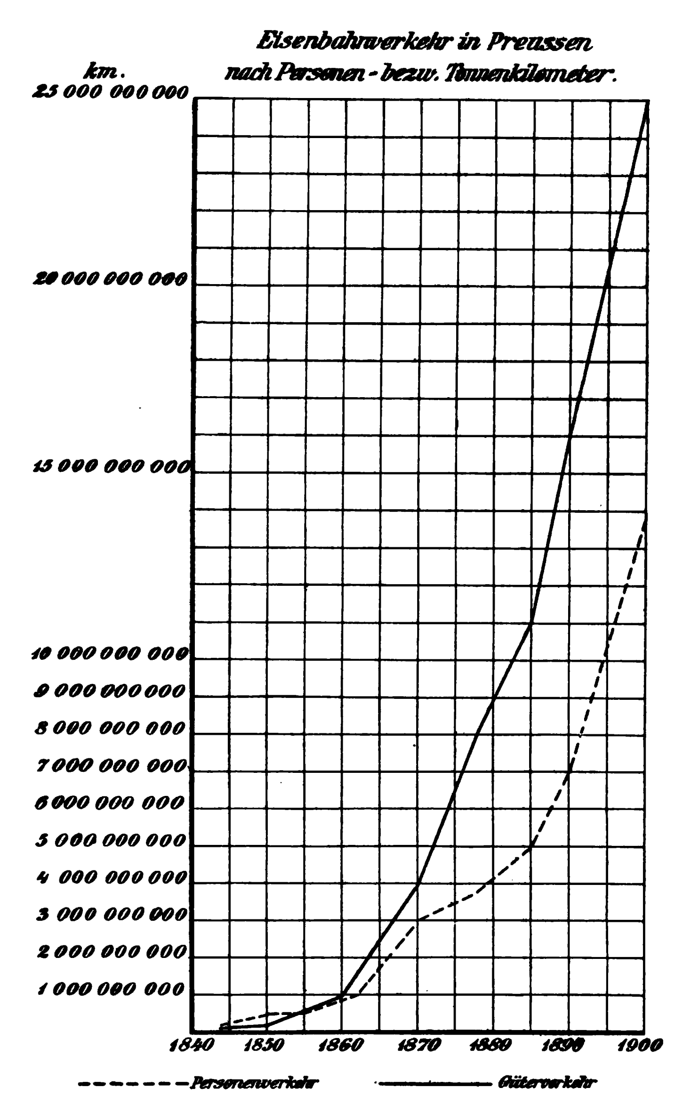


mechanisch wirkende Sicherheitsvorrichtungen bei dem Eisenbahnverkehr erreicht, daß die Gefährlichkeit der Reise beträchtlich abgenommen hat. Ein Vergleich für die französischen Bahnen ergibt, daß bei dem Postbetrieb in den Jahren 1846—1855 bei 355 000 Reisende schon ein Todesfall, auf 29 510 Reisende schon eine Verwundung eintrat, während in den Jahren 1855—1875 beim Eisenbahnbetrieb auf 5 Millionen Reisende erst ein Todesfall, auf 580 000 Reisende erst eine Verwundung kam. Einen technischen Fortschritt gegenüber der Post bedeutet schließlich noch die gesteigerte Massenhaftigkeit der Transportmengen. Die gleiche Zugkraft kann auf glattem Schienenwege bei horizontaler Lage des Planums jetzt etwa das 12fache leisten, verglichen mit dem Transport auf guter Landstraße; eine große Ersparnis der bewegenden Kraft ist damit erreicht und die Beförderung verbilligte sich; Geschwindigkeit, Regelmäßigkeit, Sicherheit und Billigkeit, diese Hauptforderungen des Verkehrs, konnten also durch die Eisenbahnen in ganz anderem Umfange erreicht werden wie durch den Post-

verkehr und für den einzelnen haben sich somit viel günstigere Verkehrsbedingungen entwickelt. Es kann deshalb nicht wundernehmen, wenn der gesamte Personen- und Güterverkehr immer mehr gewachsen ist und hierdurch trotz Verringerung der Ausgaben des einzelnen für seine Verkehrsbedürfnisse die Einnahmen des Eisenbahnunternehmers, d. h. im Staatsbahnsystem des Staates, erheblich stiegen. Immer größere Strecken wurden dem Eisenbahnverkehr dienstbar, ein Weltbahnnetz entstand, und die Einnahmen der Gesamtwirtschaft mehrten sich beträchtlich. Die folgenden Statistiken mögen besser als Worte diese Tatsachen belegen.

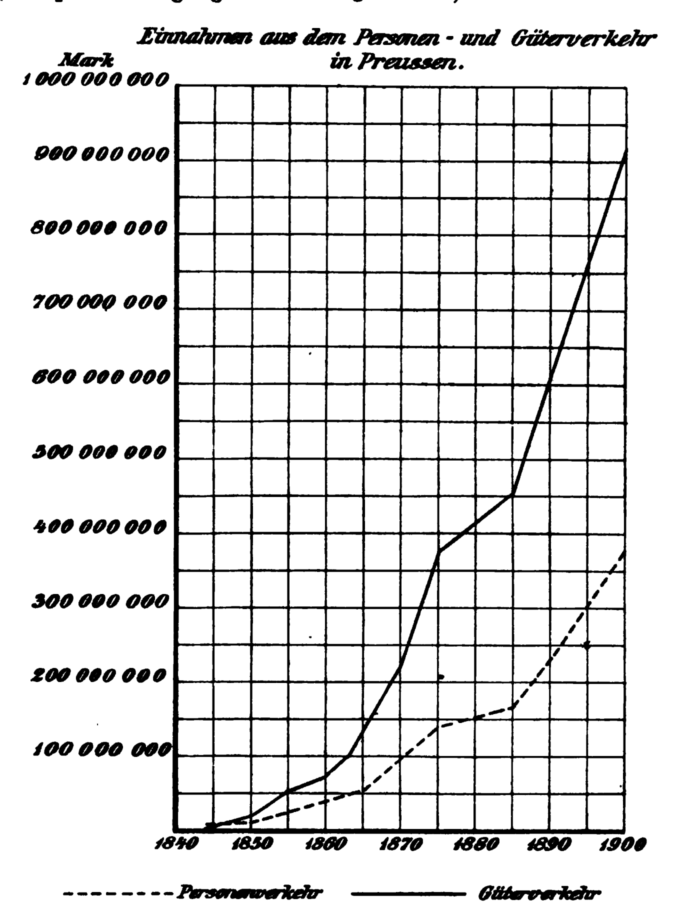


Nicht zu allen Zeiten war man sich über die Bedeutung der Eisenbahnen so klar wie jetzt, und diesem Umstand ist es auch zuzuschreiben,



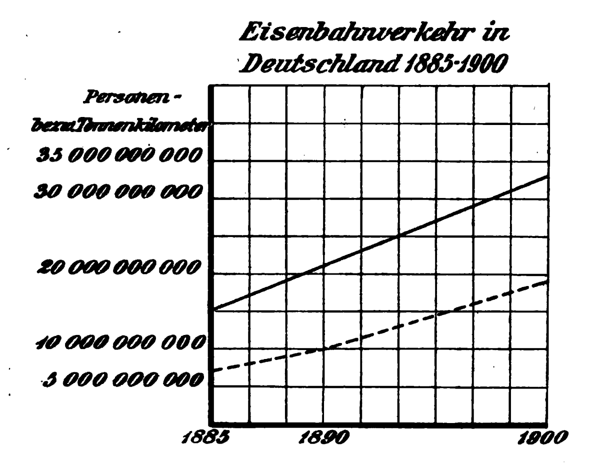
daß ihre Entstehung meist Privatunternehmungen zu verdanken ist. Doch hatte sich schon bei den Posten das Bedürfnis bemerkbar gemacht, daß der Betrieb in Hände von Großunternehmern und besonders solcher Großunternehmer übergeleitet wurde, die öffentliche Interessen wahrnahmen, so machte sich dies bei dem gesteigerten Verkehr der Eisenbahn noch viel stärker fühlbar. Der Unternehmer, der diesen Anforderungen am besten genügen konnte, war der Staat. Für diesen erschien ein Eingreifen ohnedies um so notwendiger, als die volkswirtschaftliche Bedeutung dieser Verkehrunter-

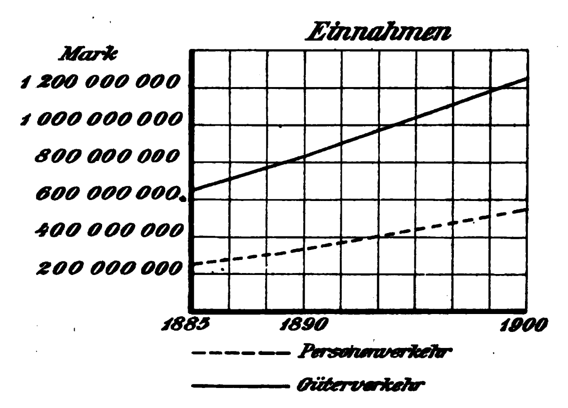
nehmung beständig wuchs. In vielen Ländern wurde eine Übernahme seitens des Staates noch dadurch erleichtert, daß die meisten Privatunternehmungen ihre Zwecke ohne Übertragung von Hoheitsrechten und materielle Unterstützung seitens des Staates (wie Verleihung des Rechtes der Enteignung, Kapitalbeteiligung und Zinsgarantien) nicht erreichen konnten.



Schon bei der Konzessionierung der Bahnen behielt sich daher der Staat weitgehende Aufsichtsrechte besonders gegenüber dem Tarifwesen vor, diesem, nach Schmoller, der staatlichen Handelspolitik gleichwertigen Gebiete. Den Anlaß zur Übernahme durch den Staat gaben dann oft drohender Untergang volkswirtschaftlich wichtiger Bahnlinien und nicht genügende Berücksichtigung großer militärisch-politischer Bedeutung derselben. So entstand in den meisten Ländern das sogenannte „gemischte System", welches dann vielfach den Übergang zu dem reinen Staatsbahnsystem gebildet hat oder

noch bildet. Während früher nur die Beaufsichtigung der Selbstunternehmer die Aufgabe des Staates gegenüber dem Verkehr bildet, übt der Staat in den Ländern des Staatsbahnsystemes jetzt als Inhaber der kapitalkräftigsten Anstalten einen direkten Einfluß auf die ganze Produktion und insbesondere den Handel aus. Seine Stellung gegenüber der Volkswirtschaft





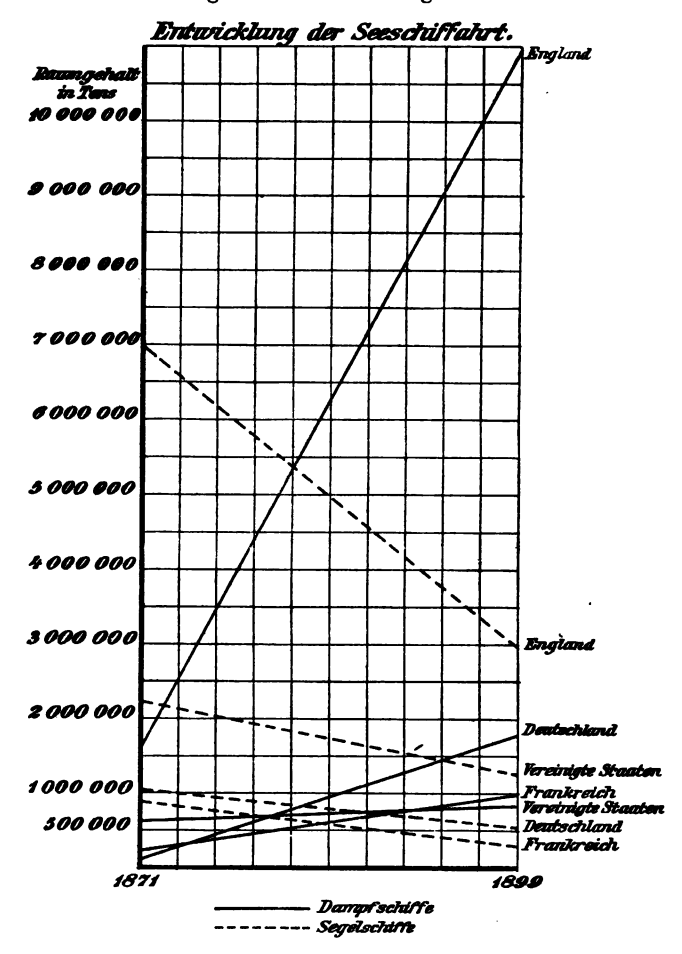
ist durchaus verändert. Die Anfänge der staatssozialistischen Politik sind durch das Staatsbahnsystem gemacht worden. Nicht allein eine Umgestaltung des ganzen Verkehrswesen von Grund aus, auch eine ganz neue Wirtschaftspolitik ist durch Einführung der Dampfmaschine in den Landverkehr, wenn auch nur indirekt, verursacht worden.

Nicht ganz so große Wirkungen lassen sich bei der Einführung der Dampfkraft in den Wasserverkehr feststellen, obgleich auch hier technische Vollendung der Maschine außerordentlich Großes geleistet hat. Der Hauptgrund hierfür ist, daß auf den Wasserwegen die Konkurrenz des Windes

zu überwinden ist, der abgesehen von dem Aufwand für Segel und Takelage unentgeltliche Arbeitet leistet, und dessen Arbeitskraft im Gegensatz zu den bewegenden Kräften auf dem Land stets dieselbe geblieben ist. Dazu ist die Entwicklung des Wasserverkehrs ungleich schwerer und nur viel ungenauer zu verfolgen, da ein der vortrefflichen Eisenbahnstatistik entsprechendes Hilfsmittel nicht vorhanden ist. Besonders gilt dies für die Binnenschiffahrt, für die statistische Nachweise nahezu gänzlich fehlen. Trotzdem hat die Dampfkraft auch für die Binnenschiffahrt ganz erhebliche Vorteile gebracht. Vor allem im Personenverkehr auf dem Binnenwasser ist das Segelschiff nahezu gänzlich verdrängt worden. Aber auch für den Güterverkehr gewährt die Möglichkeit größerer Kraftentwicklung eine Steigerung der Massenhaftigkeit der Transportmengen und durch Einwirkung der Dampfschleppschiffahrt stieg die Größe der Binnenschiffe, die noch 1840 75—400 Tonnen betrug, 1877—1897 auf 80—600 Tonnen durchschnittlich, und in manchen Gebieten, besonders auf dem Rhein, auf 600 ja 1000 bis 2000 Tonnen Die Stromregulierung mag allerdings hierbei auch einigen Einfluß gehabt haben. Die Steigerung des Binnenwasserverkehrs 1875—1895 um 143%, 1895—1898 um 43% ist sicher zum großen Teil den Dampfschiffen zuzuschreiben, die, erst in den 20er Jahren in den Binnenwasserverkehr eingeführt, schon 1878 im Deutschen Reich auf 673 Schiffe mit zusammen 52840 PS und einem Netto-Raumgehalt von 25517 Tonnen gestiegen waren. Die Tatsache, daß besonders auf dem Rhein ganze Industriezweige ihre Güter, wenn angängig, ausschließlich auf dem Wasserwege befördern, ist nicht zum mindesten der Unabhängigkeit des Dampfschiffes von Wind und Wetter zuzuschreiben; welche erst einen geregelten Verkehr auf dem Wasser möglich gemacht hat.

Schon besser steht es mit den Erfolgen der Dampfkraft auf der See. Hier hat die Beschleunigung und größere Regelmäßigkeit den Dampf große Eroberungen machen lassen, wenn auch ein Monopol der Seedampfschiffahrt noch nicht entfernt erreicht ist. Der Grund dafür ist eben, wie schon erwähnt, in der starken Konkurrenzfähigkeit des Windes zu suchen, der noch heute dieselbe unentgeltliche Arbeit wie früher leistet. Wollte deshalb die Dampfmaschine diese Konkurrenz überwinden, so mußte sie Vorteile bieten, welche die Verteuerung der bewegenden Kraft wieder aufhoben. So wurden auch hier wieder Beschleunigung, Regelmäßigkeit und Sicherheit, welche das Dampfschiff viel besser gewährte als das größte Segelschiff, die ausschlaggebenden Faktoren für die Entscheidung zugunsten des Dampfschiffes. Brauchte ein transatlantischer Postdampfer zu einer Reise von Liverpool bis Newyork 1840 noch 15 Tage, so hat 1899 der „Kaiser Wilhelm der Große", eines der größten Schiffe der Welt, diese Fahrt in

5 Tagen 18 Stunden und 5 Minuten zurücklegen können. Hängt die Fahrt des Segelschiffes immer von der Richtung und Stärke des Windes ab, der ständig wechselt, ja oft überhaupt nicht weht, und muß dieses Schiff schon bei der Ausfahrt erst auf günstigen Wind warten, so ist das Dampfschiff nahezu unabhängig vom Wetter und kann selbst bei entgegengesetztem Winde denselben Weg noch mit großer Geschwindigkeit zurücklegen. Im Stückgüterverkehr, bei dem es auf regelmäßige und schnelle Beförderung ankommt, ist infolgedessen das Segelschiff schon gänzlich verdrängt worden. Nur dem Dampfschiff ist es schließlich zu verdanken, wenn heute ein regelmäßiger Postverkehr über die ganze Welt stattfindet zu Preisen, wie sie früher im Landverkehr auf kurze Strecken nicht möglich waren. Es kann deshalb auch nicht erstaunen, daß die Dampfschiffe im Seeverkehr ständig zunehmen, während die Segelschiffe immer weniger werden. Die folgende Statistik mag den Beweis dafür liefern:



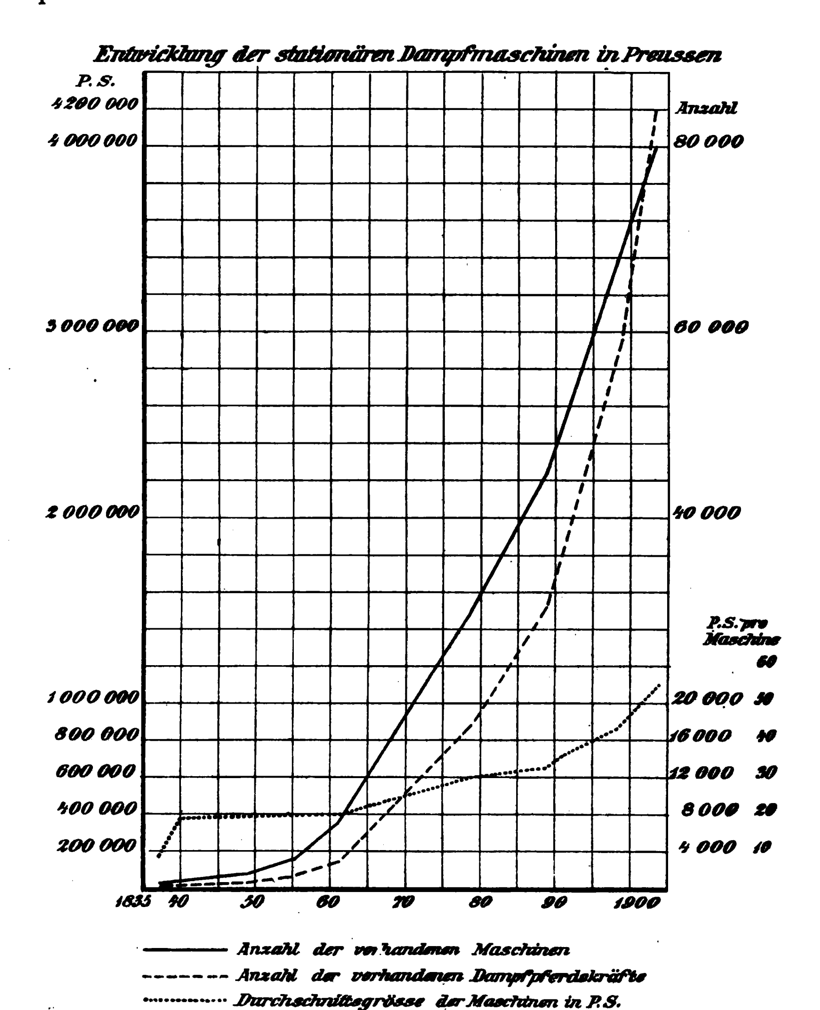
Also nicht allein auf dem Lande, auch zu Wasser hat die Dampfmaschine einen Sieg über die alten Verkehrsmittel erfochten, der die Umgestaltung des ganzen Verkehrswesens zur Folge hatte. Von der Postkutsche zum Expreßzug, von der Segelbarke zum Schnelldampfer, nur solche Riesenschritte konnten genügen, um ein wirksames Heilmittel gegen die drohende Übervölkerung zu werden. Die gewaltig gesteigerten Bedürfnisse der ständig wachsenden Bevölkerung forderten Erschaffung neuer Lebensquellen. Ein weit über die Grenzen der Staaten hinausgehender Markt entstand, und die auf das Doppelte gestiegene Bevölkerung konnte mit Nahrungsmitteln und Gütern aller Art versorgt werden. Neue Absatzgebiete, neue Einnahmequellen wurden erschlossen, eine weit über die nationalen Grenzen hinausgehende internationale Arbeitsteilung wurde ermöglicht. Der Welthandel war die ebenbürtige Folge des Einzuges der Maschinen in unsere Kultur.

Haben wir im vorigen darzustellen versucht, welchen Einfluß die Dampfmaschine auf den Handel und Verkehr hatte, und damit die Wirkungen der Maschinenanwendung auf den Güterumsatz geschildert, so wollen wir die folgenden Zeilen dazu benutzen, einen Überblick darüber zu geben, welchen Einfluß die Maschine und speziell die Dampfmaschine auf die Gütererzeugung und zwar insonderheit die Gewerbe und die Landwirtschaft ausübte. Denn besonders das Gewerbe ist durch die Maschinen von Grund aus umgestaltet worden.

Wie schon oben erwähnt, erregte ein Bedürfnis nach Vereinfachung und Verbilligung der Produktionskräfte in den Gewerben den Drang nach Ersatz der Handarbeit durch Maschinenkraft. Die mechanischen Kräfte, welche bisher in den Gewerben Verwendung fanden, waren Wind- und Wasserkraft. Die Windmühlen, Wasserräder und später die Turbinen schufen die Möglichkeit diese Kräfte für die Stoffveredlung zu benutzen. Doch bei beiden spielte wieder das Wetter eine entscheidende Rolle. Wehte der Wind einmal nur schwach oder gar nicht, versagten infolge Trockenheit einmal die Wasser, so traten schon empfindliche Störungen in diesen Betrieben ein. Dazu konnte Wind- und Wasserkraft nur an ganz bestimmten Orten Verwendung finden: die Windmühle konnte nur an stark dem Winde ausgesetzten Plätzen, weiten Ebenen oder zugigen Höhen, die Wassermaschinen nur in Gegenden angebracht werden, welche starkes Gefälle aufwiesen, also hauptsächlich Gebirgen und Tälern. Nur wo solche Landstrecken auch andere für die Existenz der Gewerbe notwendige Bedingungen, wie Nähe des Rohmaterials, erfüllten, konnten die Naturkräfte für den Betrieb der Gewerbe ausgenützt werden. Dem gegenüber war die Dampfmaschine von jeder örtlichen Fessel nahezu befreit. Nur die Beschaffung

des Heizmaterials konnte im einzelnen Falle Schwierigkeiten machen; diese waren jedoch durch geeignete Verkehrsanlagen jederzeit zu umgehen. In allen Gewerben, in welchen die Stärke der vorhandenen Kräfte nicht mehr ausreichte, wie im Berg- und Hüttenbau, oder bei welchen die Art der Fabrikation nur irgend Mechanisierung zuließ, stand daher nach Erschaffung der Dampfmaschine kein Hindernis im Weg, die Dampfkraft zu benutzen und die teure Handarbeit durch Maschinenarbeit zu ersetzen. Kein Wunder, daß die neuen Maschinen rasch ausgedehnte Abnahme fanden.

Die folgenden Statistiken liefern den Beweis dafür, wie rasch die Dampfmaschinen sich in den Gewerben ausbreiteten:



Diese rasche Zunahme der Maschinen hatte jedoch auch nachteilige Folgen. Wo Maschinen eingeführt wurden, konnten viele menschliche Arbeitskräfte plötzlich entbehrt werden und schon früh erblickten alle Arbeitenden in der Maschine die Ursache von Arbeits- und Brotlosigkeit. Der Haß der Arbeiter gegen diesen verdienstraubenden Konkurrenten führte daher zu

Ausbreitung der Dampfmaschine in den Gewerben.

	1878	1895
1. Bergbau, Hütten- und Salinenwesen	508 357 PS	968 020 PS
2. Industrie der Steine und Erden	24 107 „	176 257 „
3. Metallverarbeitung	22 544 „	108 208 „
4. Industrie der Maschinen, Werkzeuge	20 499 „	162 646 „
5. Chemische Industrie	10 415 „	74 841 „
6. Industrie der Heiz- und Leuchtstoffe	6 727 „	22 010 „
7. Faserstoffindustrie	87 147 „	?
8. Papier- und Lederindustrie	24 569 „	105 390 „
9. Industrie der Holz- und Schnitzstoffe	22 907 „	119 971 „
10. „ „ Nahrungs- und Genußmittel	110 018 „	392 827 „
11. „ „ Bekleidung und Reinigung	2 358 „	16 668 „
12. Baugewerbe	786 „	43 821 „
13. Handelsgewerbe	268 „	43 066 „
14. Textilindustrie	?	446 289 „

regelrechten Aufständen und damit zu staatlichen Eingriffen, ja behördlichen Verboten der Maschinenanwendung. Doch wie kurzsichtig waren diese Maßnahmen, die doch nur dem Vorteil der Menschen entgegenarbeiteten! Bedeuten diese momentanen Übelstände doch nichts anderes als die Äußerung einer Verschiebung der wirtschaftlichen Organisation. War diese erst einmal vollzogen, so verschwanden diese nachteiligen Folgen schon von selbst.

Wurden auch durch die Maschinenverwendung eine ganze Reihe von Arbeitskräften für ihre bisherige Beschäftigung überflüssig (in der Maschinenindustrie waren es in den 20er Jahren nahezu 70%), so steigerte sich durch den Maschinenbetrieb die Gesamtproduktion so erheblich, daß immer neue Arbeitsgelegenheit entstand. Dazu vergrößerte der zunehmende Handel die Absatzgebiete auch für die der Maschinenanwendung weniger zugänglichen Betriebe, ja schuf ganz neue Betriebe, so daß auch auf diesen Gebieten die Nachfrage nach Arbeitskräften immer mehr stieg. Durch die gesteigerte Gesamtproduktion wurden andererseits die Einzelunternehmungen auf dem Weltmarkte bedeutend konkurrenzfähiger: Sie konnten größere Geschäfte abschließen, entsprechend mehr einnehmen und auch mehr Lohn bezahlen. Durch günstige ausländische Absatzgebiete kam mehr Geld in das Land als ausgeführt wurde, mit anderen Worten die Zahlungsbilanz erhöhte sich und der Nationalwohlstand wurde vermehrt. In letzter Kon-

sequenz wurden somit auch die nachteiligen Folgen der Maschinenanwendung, die sich in wachsender Arbeitslosigkeit zeigten, wenn auch nicht aus der Welt geschafft, so doch erheblich gemindert und durch andere Vorzüge wieder gut gemacht.

Die bei den Maschinen notwendige Ausnützung einer Kraftquelle bedingte die Konzentrierung des Betriebes und für dieses Erfordernis war die Unternehmungsform des dezentralisierten Handwerkerstandes ungeeignet. Nur die Fabrik konnte diesen Anforderungen vollauf genügen, bei der Fabrik war auch die für die Massenproduktion notwendige Arbeitsteilung in geeigneter Weise durchzuführen. Aus vielen kleinen selbständigen Werkstätten wurden deshalb zentralisierte Fabriken, Großunternehmungen wurden gegründet, welche die kleinen Betriebe in sich aufnahmen, und statt des selbständig besitzenden Handwerkerstandes die neue Klasse des Lohnarbeiterstandes erzeugten. Die wirtschaftliche Organisation der Gewerbe wurde damit verändert, mit einem Wort, durch den Einzug der Maschinen in die Gewerbe ist die moderne Großindustrie entstanden.

Diese Entwicklung der Gewerbe, welche ganze Staaten von Ackerbau- zu Industriestaaten stempelte, blieb nicht ohne Einfluß auf die Landwirtschaft. Dieses Schmerzenskind der modernen Staaten hatte unter der gewerblichen Konkurrenz viel zu leiden, umsomehr als die Sonderinteressen der Industrie durch die Wichtigkeit derselben immer stärkere Beachtung verlangten und meist im Widerspruch mit denen der Landwirtschaft standen. Auch die Landwirtschaft mußte sich deshalb nach neuen Mitteln umsehen, um nicht zurückzubleiben und damit ihrem Untergang entgegenzugehen. Auch bei ihr haben die Maschinen gute Hilfe geleistet. Wurden in der Industrie die kleinen Betriebe durch die Großunternehmungen immer stärker eingeschränkt, so machte auch in der Landwirtschaft die Möglichkeit der Maschinenanwendung den Großgrundbesitz gegenüber der Kleinbauernwirtschaft rentabler. Wo der Dampfpflug Verwendung finden konnte, wurde die Feldbestellung durch Massenbetrieb erheblich verbilligt, und die landwirtschaftlichen Produkte konnten konkurrenzfähiger auf den Märkten erscheinen. Dazu ersparte die Dreschmaschine Zeit und Arbeit, so daß auch hierdurch das fertige Produkt viel billiger verkauft werden konnte. Allerdings hielt in der Landwirtschaft die Einführung der Maschinen nicht entfernt Schritt mit deren Einführung in den Gewerben. Es erklärt sich dies aber nicht zum mindesten daraus, daß der stark konservative Charakter der landwirtschaftlichen Bevölkerung diesen Neuerungen viel unzugänglicher gegenüberstand. Trotzdem brachten die Maschinen nicht allein Verbesserungen für die Landwirtschaft, auch die Lebensfähigkeit ganzer landwirtschaftlicher Betriebe hängt heute von der Maschinenanwendung ab. Nur

der Verwendung des Dampfpfluges ist es z. B. heute zu verdanken, wenn die Baumwollkultur in vielen Ländern große Erfolge erringt. Sind auch bei der Landwirtschaft die Folgen der Maschinenanwendung viel geringer geblieben als bei anderen Produktionszweigen und konnten auch die Maschinen dieselbe nicht vor einem Niedergang bewahren, so ist doch schon jetzt entschieden ihr Einfluß zu spüren, und dieser wird noch größer werden, je mehr die Bevölkerung den Vorteilen der Maschine zugänglich wird.

Anmerkung: Die Textfiguren sind photographische Reproduktionen aus den acta eruditorum (Figur 1) und aus der ars nova (Figur 2 und 3). Die Aufnahmen wurden vom Verfasser gemacht mit gütiger Erlaubnis der großherzoglichen Hofbibliothek zu Darmstadt, in deren Besitz sich die beiden Werke befinden.

Literaturnachweis.

1. Acta eruditorum, Lipsiae 1689, 1690, 1691, 1698, 1706, 1707.
2. Arago, oeuvres complètes, M. J.-A. Barrah, Paris, Leipzig 1855.
3. Zeitschrift des Vereins für hessische Geschichte und Landeskunde Neue Folge. Band 8. Kassel 1880.
4. Zeitschrift des historischen Vereins für Niedersachsen 1850. Hannover 1854.
5. Wiedemanns Annalen. Neue Folge. Band 8. Leipzig 1879.
6. v. Uffenbach, Merkwürdige Reisen. Frankfurt und Leipzig 1753.
7. Papin D., Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam. Lipsiae 1707.
8. De la Saussaye, La vie et les ouvrages de Papin. Paris-Blois 1869.
9. Gerland, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin. Berlin 1881.
10. Gerland, Die Dampfmaschine im 18. Jahrhundert in Deutschland.
11. Matschoss, C., Geschichte der Dampfmaschine, Berlin 1901.
12. Beck, Th., Beiträge zur Geschichte der Dampfmaschine.
13. Schmoller, G., Grundriß der allgemeinen Volkswirtschaftslehre. 1901.
14. Conrad, Dr. J., Leitfaden zum Studium der Volkswirtschaftspolitik
15. Reuleaux, F., Kurzgefaßte Geschichte der Dampfmaschine. 1891.
16. Engel, Das Zeitalter des Dampfes, Berlin 1880.
17. Kulischer, J., Die Ursachen des Übergangs von der Handarbeit zur maschinellen Betriebsweise. Jahrb. f. Ges. u. Verw. 1906.
18. Vater, R., Dampf und Dampfmaschine 1905.

